

Handbook
of solid
waste
management

Утилизация твердых отходов

Том 1



Москва
Стройиздат

Handbook of solid waste management

Edited by David Gordon Wilson

Van Nostrand Reinhold Company

Утилизация твердых отходов

Под редакцией Д. Вилсона

В ДВУХ ТОМАХ

ТОМ 1

**Сокращенный перевод с английского
Э. Г. Тетерина и А. С. Скотникова**

**Под редакцией канд. хим. наук
А. П. Цыганкова**

Москва Стройиздат

ББК 38.93
У 84
УДК 628 77

Рекомендовано к изданию Государственным комитетом СССР по науке и технике (Отдел природоиспользования и защиты окружающей природной среды) и Государственным плановым комитетом СССР.

Утилизация твердых отходов /Под ред. Д. Вилсона;

У 84 Сокр. пер. с англ. Э. Г. Тетерина и А. С. Скотников;
Под ред. А. П. Цыганкова. — М.: Стройиздат,
1985. — 336 с., ил.

Рассмотрен комплекс проблем, связанных с организацией процессов сбора, транспортировки, обработки и удаления твердых отходов. Дан подробный анализ технико-экономических показателей различных вариантов переработки бытовых отходов, отходов химической, металлургической, металлообрабатывающей и других отраслей промышленности. Рассматриваются возможности классификационного разделения отходов и рекомендации по организации и проведению аналитического контроля состава и свойств отходов. Особое внимание уделено утилизации и рециклизации твердых отходов промышленности и сельского хозяйства.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных организаций.

У 3403000000 — 654 КБ 15 — 55 — 1984
047 [01]—85

ББК 38.93
6С9.5

УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Редакция переводных изданий

Зав. редакцией Р. Л. Рошина

Редакторы Э. А. Гурвич, М. Н. Кузнецова

Технический редактор Н. А. Белькович

Корректор В. И. Галюзова

ИБ № 2450

Подписано в печать 13. 12. 80 г. Формат 60 x 90 1/16 дл. Набор машинописный.
Бумага офсетная. Печать офсетная Печ. л. 21 Усл. кр. отт. 21.25
Уч. изд. л. 24,22 Тираж 2300 экз. З ак 523 Изд. № А1У — 8807. Цена 3 р. 60 к.

Стройиздат 101442, Москва, Каляевская ул., 23 а

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Тула, пр. Ленина, 109

© 1977 by Litton Educational Publishing, Inc.

© Предисловие к русскому изданию

Перевод на русский язык, Стройиздат, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

В 1979 г. Стройиздатом была выпущена книга «Твердые отходы» под редакцией Ч. Мантелла, в которой рассматривались проблемы утилизации и переработки промышленных, радиоактивных, сельскохозяйственных и коммунальных отходов. Тираж ее в 2000 экземпляров разошелся очень быстро и не смог полностью удовлетворить потребности специалистов.

В предлагаемой читателю книге «Утилизация твердых отходов», под редакцией Д. Вилсона в отличие от упомянутого издания приведено значительно больше сведений именно справочного характера, в том числе касающихся физико-химических, физико-механических и других свойств отходов производства и потребления. Авторы не только ограничиваются описанием накопленного опыта, но и прогнозируют варианты образования отходов, развития способов их переработки, а также изменения технико-экономических показателей до 2000 г. Особое внимание уделено рассмотрению повторного использования или рециклизации всех вторичных цветных металлов с учетом изменения условий добычи полезных ископаемых до 2000 г.

Авторы критически проанализировали историю развития технологических процессов переработки бытовых отходов, т. е. конкуренцию между сжиганием и компостированием, и пришли к выводу, что для США в условиях нарастающего дефицита и увеличения цен на топливо при обеспечении сельского хозяйства минеральными удобрениями более предпочтительным до 1990 г. окажется метод сжигания с утилизацией тепла. Однако при этом ими не учтено, что органические удобрения, в том числе и компост, позволяют повысить усвояемость питательных веществ, в первую очередь, фосфора из минеральных удобрений. Поэтому к такой рекомендации следует относиться с определенной осторожностью.

В русском переводе книга «Утилизация твердых отходов» сокращена примерно вдвое, в первую очередь, за счет разделов, специфичных для США, в которых рассматриваются правила заключения контрактов, дается сравнительный анализ состояния переработки отходов в различных штатах и некоторые сведения, имеющие только исторический интерес, и т. д. Многие таблицы преобразованы в форму, более привычную и удобную для восприятия с пересчетом в метрическую систему.

В СССР использование отходов производства и потребления осуществляется в соответствии с основными принципами плановой социалистической экономики. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятых XXVI съездом КПСС, большое внимание уделяется экономии материальных и энергетических ресурсов. В решении этой проблемы определенное значение имеет дальнейшее вовлечение в народное хозяйство возрастающего количества вторичных ресурсов, т. е. отходов производства и потребления, так как изготовление товарной продукции из вторичных ресурсов обходится в несколько раз дешевле производства аналогичной продукции из первичного природного сырья.

Начиная с 1981 г. в государственном плане экономического и социального развития предусмотрен специальный раздел «Использование вторичного сырья». Аналогичный раздел вошел в планы союзных республик, областей, городов и предприятий. Проведена единая инвентаризация отходов по состоянию на 1 января 1981 г., анализ результатов которой позволит провести конкретные практические мероприятия по утилизации отходов, дающие наибольший народно-хозяйственный эффект. Утверждена программа научно-технических работ на 1981—1985 гг. по созданию новых технологических способов и оборудования для переработки отходов.

В связи с вышеизложенным выход книги «Утилизация твердых отходов» под редакцией Д. Вилсона представляется своевременным и несомненно будет полезен широкому кругу специалистов, занятых решением проблем экономии материальных и энергетических ресурсов, а также более эффективного использования вторичных ресурсов в различных отраслях промышленности.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Обработка твердых отходов представляет собой одну из древнейших и вместе с тем современнейших областей человеческого знания. В различные периоды истории усилия многих поколений специалистов в области общественного здравоохранения направлялись на ликвидацию антисанитарных условий существования человека. Это стало особенно заметно в конце прошлого века, когда теория и практика общественного здравоохранения досрочно допелись до осознания необходимости улучшения условий жизни и быта работающей бедноты в английских городах. Движение за общественное здравоохранение быстро распространилось в Европе и в США, где необходимость улучшений не была столь очевидной как в Европе, но признаки опасности проявлялись по мере усиления скученности в городах, расположенных в восточной части США.

Предпринятые усилия дали поразительные результаты, проявившиеся в уменьшении числа заболеваний и в очистке городов; были выработаны правила, закрепляющие эти успехи, написаны соответствующие руководства, открыты курсы общественного здравоохранения, и население облегченно вздохнуло, уверенное в том, что проблемы, связанные с обработкой твердых отходов, решены навсегда.

Этот образ мыслей господствовал на протяжении двух поколений — периода, достаточного для того, чтобы большинство исследовательских групп распалось или прекратило свое существование. Принятый ранее подход к вопросу стал традиционным и нечувствительным к веяниям времени. Но произошли изменения, обусловленные ускорением темпов промышленной революции, успехи которой позволили сравнительно легко решить различные проблемы прошлого столетия. А вновь возникшие проблемы были связаны с коренными изменениями характера бытовых отходов. В прежние времена они состояли преимущественно из золы и пищевых отходов, а теперь в них во всевозрастающем количестве встречаются бумага, пластмассовые и стеклянные упаковочные средства. Изменился и состав промышленных отходов: в них много неизвестных веществ с неизученными свойствами, что представляет большую опасность. Часть веществ, которые сравнительно легко перерабатывались в малых количествах, в процессе индустриализации стали образовываться в огромных масштабах, что во многих случаях привело к немедленным катастрофическим эффектам, а в некоторых к обеснванному беспокойству о более далеких возможных последствиях.

В результате эти новые проблемы нас фактически застигли врасплох. В последние два десятилетия особенно возросло понимание важности вопроса, а также необходимости действий, которые преобразили бы всю сферу обработки твердых отходов. Появление настоящей книги в известной мере отражает эти настроения.

Круг рассматриваемых в справочнике вопросов довольно широк. Она написана группой ведущих специалистов. По каждому вопросу составлен обзор имеющихся данных, собраны основные результаты исследований и высказаны предположения о дальнейшем развитии проблемы.

Справочник предназначен для широкого круга читателей: как специалистов, непосредственно связанных с утилизацией твердых отходов, так и неспециалистов, лишь интересующихся некоторыми аспектами этой проблемы.

В книге, как нам кажется, отражены последние достижения в области утилизации твердых отходов.

Дэвид Г. Вилсон, Массачусетский технологический институт

Общие сведения. Начиная с древнейших цивилизаций, захоронение отходов в сельских местностях было сравнительно простым делом. В крупных поселениях обработка твердых отходов всегда была усовершенствована. Проблема складирования отходов усложняется по мере роста плотности населения. Одновременно наблюдаются увеличение количества отходов на единицу площади и уменьшение доли земли, которую можно использовать для накопления этих отходов. Поэтому история проблемы обработки твердых отходов связана, в основном, с историей развития крупнейших городов.

Во времена расцвета минойской цивилизации на Крите от 3000 до 1000 г. до н. э. твердые отходы в столице Кноса помещались в большие ямы и пересыпались через определенные промежутки слоями земли [1]. Однако римляне не имели организованной системы удаления отходов: свалка и сбор отходов проводились на улицах и вокруг городов и деревень. Эта практика в общем виде существовала до XIX в.

Древние города открывают археологам свои тайны частично благодаря анализу их мусорных свалок. Примером этого служат черепки гончарных изделий, пыль и грязь с пола и дорог. Несмотря на небольшие количества, в которых «производились» эти материалы, постепенное накопление их год за годом во многих случаях привело к окончательному захоронению города и строительству, по существу, нового города на том же месте, но на более высокой отметке. Так, уровень старинного английского города, известного со времен Римской империи, находится сейчас на 3,5–6 м выше уровня его закладки.

Покрытые камнем полы в домах тюдоровских времен содержат куски горной породы размером до 0,5–1 м, богатой нитратами. До первого ввоза нитратов в 1610 г. эта порода считалась единственным источником селитры, которая использовалась при изготовлении пороха. Можно было даже купить право «на добычу селитры».

Некоторые средневековые города Германии избежали опасности быть погребенными под своими собственными отходами, потребовав, чтобы выезжающие из города повозки, использовавшиеся в город, возвращались загруженными отходами, которые следовало сваливать в сельской местности.

Однако при должной бережливости и мастерстве в период до начала промышленной революции можно было найти выгодное применение практически для любого вида отходов. Известно, что мусорная свалка столицы Шотландии Эдинбурга оставалась неизменных размеров в XVIII и XIX вв., так как все, что выбрасывалось, подвергалось сортировке и в конце концов продавалось. В более близкое к нам время, в 1926 г., 41 кирпичный завод использовал

пыль из мусора Лондона для получения стандартных кирпичей, и в какой-то мере эта практика продолжается и по сей день [2]. В том же отчете так изображено развитие методов обработки мусора в Лондоне в более отдаленные времена: "По мере росла плотность населения и нехватки земли в пределах городской площади, развилась система улиц. Соответственно изменялась и схема удаления отходов. Все, начиная от домашнего мусора до золы из литейной, отходов с бойни и из мясных лавок и навоза из конюшен, направлялось на улицу, где попадало в центральную водосточную канаву.

Около каждого дома была куча мусора частично из-за того, что в городе содержалось много лошадей, свиней и других животных, а частично потому, что высокая концентрация строений делала недопустимым сжигание мусора. Еще с 1297 г. каждый домовладелец в Лондоне был обязан по закону содержать в чистоте тротуар по фасаду своего дома. В 1354 г. было издано постановление, согласно которому грязь, накопившаяся перед домами, должна была убираться каждую неделю. Обязанностью помощников старост каждого района города — мусорщиков было следить за тем, чтобы со средней части улиц и перед домами убирался весь мусор».

Мусор собирался и погружался на телегу или повозку с наклоняемой платформой, которую везли две лошади [3]. В Лондоне было 12 таких специально оборудованных повозок с откидными задними досками высотой примерно 75 см. В 1387 г. была создана комиссия для определения мест для свалок мусора или мест, куда мусорщики и извозчики могли бы сбрасывать то, что они собрали. Ряд таких свалок был устроен в окрестностях города и на берегах Темзы. Были установлены специальные дни, когда мусор выставлялся за дверь, чтобы мусорщики забирали его и отправляли на свалку. Указ 1407 г. обязывал лондонцев сохранять накопившийся у них мусор в доме до тех пор, пока его не смогут забрать мусорщики. Мусор со свалок в пригородах продавался крестьянам и зеленщикам; мусор со свалок на берегах рек сплавлялся на лодках вниз по течению и сбрасывался в болота Эссекса.

Другим методом удаления отходов в средневековом Лондоне было сбрасывание мусора в ручьи или в саму Темзу. Принималось множество решений, направленных против такой практики. В 1388 г. был принят закон, запрещающий загрязнение рек, каналов и ручьев путем сброса в них грязи и пищевых отходов и требующий, чтобы весь мусор убирался в установленные места до того, как он станет источником засорения воды.

Правила сбора и удаления мусора, которые были установлены в Лондоне в начале XV в., оставались практически неизменными в течение почти 500 лет.

Большой пожар в Лондоне в 1666 г. произвел великое очищающее действие, и в течение некоторого времени недовольства по поводу мусора на улицах прекратились. Однако уже в 1741 г. лорд Тирконнел, описывая улицы Лондона, указывал, что они изобиловали грязью. Гвинн в трактате о необходимых улучшениях в 1750 г. также указывал среди неудобств, которые следует устранить, грязь

и мусор на улицах. Другой автор — Корбин Моррис, двумя годами позже предлагал, чтобы очистка всей территории столицы проводилась одним общим общественным управлением и вся собранная грязь погружалась на баржи и вывозилась по Темзе на соответствующее расстояние в сельскую местность. Однако никаких реальных действий не предпринималось, и горы мусора оставались на своем месте.

15 февраля 1832 г. в газете «Таймс» появилось письмо нескольких возмущенных жителей Вестминстера, протестовавших против того, что улицы вокруг Вестминстерского аббатства стали свалкой всех разновидностей мусора, а выброшенные отбросы растительного происхождения гнили и разлагались. Попыткой исправить создавшееся неблагоприятное положение законодательным путем было принятие столичным полицейским управлением постановления в 1839 г., направленного против тех, кто выбрасывал мусор.

Однако прошло некоторое время, прежде чем были выполнены рекомендации, содержащиеся в Основном докладе Чэдвика о санитарных правилах для трудящихся Великобритании 1842 г., согласно которым общественные власти обязаны удалять весь мусор из жилищ, с улиц и дорог.

Современная система сбора и удаления мусора местными властями развивалась на основе Акта об общественном здравоохранении 1875 г. Этот акт обеспечил Санитарному управлению возможность уборки в определенные дни собранного мусора из жилищ. Жители обязаны были помещать мусор в переносную тару — первое официальное признание мусорного ящика.

Каждое санитарное управление руководствовалось впоследствии Актом об общественном здравоохранении 1891 г. и занимало на

Таблица 1.1. Состав отходов Лондона [6]

Компоненты отходов	Содержание, % по массе			
	1888 г.	1892 г.	1925—1926 гг.	1966—1967 гг.
Зола и пыль	81,65	83,2	54,82	19,29
Растительные и гниющие отходы и кости	13,2	8,31	14,7	19,16
Бумага	—	4,28	15,04	33,97
Металлы	0,38	1	3,61	10,63
Ветошь	0,42	0,39	1,78	2,44
Стеклянная посуда	1,3	1,43	3	10,92
Пластмасса	—	—	—	1,3
Различный лом	3,05	1,39	7,05	2,29

работу или заключало контракт с достаточным числом мусорщиков, чтобы обеспечить очистку и подметание нескольких улиц в пределах своего района и сбор и удаление уличного и бытового мусора. Управлениям были предоставлены полномочия устанавливать правила, касающиеся этих служб. Соглашения об уборке мусора с территории Большого Лондона до 1965 г. находились в руках примерно 90 местных управлений [2]. Табл. 1.1. заимствованная из того же источника, показывает, как изменялся состав лондонского мусора в течение последнего столетия.

В организации муниципальной очистки улиц Париж шел несколько впереди Лондона, образовав первые общественные фонды для уплаты за уборку в 1506 г. [4] и далее в 1906 г. [5].

Сжигание отходов. Первая печь для сжигания отходов, рассматривавшаяся как установка, предназначенная для сжигания мусора, была построена в Англии в 1874 г. Развитие промышленной революции в Великобритании привело к появлению отходов, имеющих сравнительно высокую теплотворную способность. Эпидемия холеры в 1892 г. ускорила создание первой в Европе печи для сжигания отходов (Гамбурге, Германии, 1893 г.). Эта установка действовала до 1924 г. В том же городе в 1912 и 1913 гг. были построены две другие печи для сжигания отходов. В Англии же к 1914 г. уже имелось 200 печей для сжигания отходов (причем 65 из них использовались для получения энергии от установленных там же парогенераторов) в 160 городах [7].

Первые печи для сжигания отходов в США были построены в 1885 г. в Аллегене в Пенсильвании и на Комендантском острове в порту Нью-Йорка по заказу правительства США [8].

Обработка отходов. Первое известное постановление в США об отходах было принято муниципалитетом Джорджтауна в 1795 г.: в нем запрещалось продолжительное хранение мусора на правах частной собственности или выбрасывание его на улицы [9]. Джорджтаун и те районы, которые впоследствии стали г. Вашингтоном (теперь они объединились), заключили в 1800 г. контракт с извозчиками на периодическую уборку улиц и переулков. Впервые уборка мусора за счет общественных средств была начата в 1856 г. Одним из первых декретов вновь образованного округа Колумбия был законопроект 1895 г. об уборке мусора и строительстве печи для сжигания отходов. Однако когда печь была построена, она действовала только в зимние месяцы. В течение лета мусор собирался в баржи и отправлялся на юг в Александрию (шт. Виргиния).

Но в быстро растущем Нью-Йорке проблема твердых отходов становилась очень острой. Один только Манхаттан в 1900 г. давал в среднем в день 612 т пищевых отходов, а в наиболее напряженные дни сбор достигал 1100 т [10]. Санитарные условия в больших американских городах оставляли желать много лучшего, и органы здравоохранения под влиянием прогресса, достигнутого в Европе, требовали улучшить организацию переработки отходов.

Несмотря на риторические заявления сторонников санитарных реформ, журналистов и других лиц, состояние дел со сбором и

удалением мусора в 1880-х и в начале 1890-х годов было неудовлетворительным. Методы были несовершенны, технология, использовавшаяся в США, примитивной, большинство людей равнодушно относилось к этим вопросам. В Нью-Йорке пищевые отходы небрежно собирались на повозки, грузились на баржи и сбрасывались в море. В Филадельфии за удаление городских отходов отвечали нанятые люди, часто случайные и неумелые. В Чикаго, Сент-Луисе, Бостоне и Балтиморе значительная часть мусора просто выбрасывалась на открытые свалки. А в Кливленде вообще не предпринималось никаких мер для сбора бытовых пищевых отходов [10].

В некоторых районах США мусор перед его захоронением опрыскивали химическими дезинфицирующими средствами — мера, к которой сейчас относятся неодобрительно. Однако со все возрастающим энтузиазмом относились к использованию огня в качестве незаменимого дезинфицирующего средства. После появления первых печей для сжигания мусора в Аллегане (шт. Пенсильвания) и на Комендантском острове в Нью-Йорке в 1885 г. так называемые крематории макулатуры распространились по всей территории США. Чикаго имел как стационарную печь, так и передвижную установку для сжигания мусора. Последняя, изобретенная Джорджем С. Уэллсом, передвигалась по переулкам, удаляя мусор по мере прохождения.

Однако лидером в наведении чистоты стал неожиданно Нью-Йорк благодаря усилиям полковника Джорджа Е. Варинга (младшего), комиссара Отдела очистки улиц в 1895—1898 гг. Его бурная реформаторская деятельность придала импульс делу на более длительный период. Нью-йоркцы впервые за много лет смогли ходить по чистым тротуарам и ездить по улицам, освобожденным от мусора и навоза [10].

Первый шаг Варинга состоял в классификации отходов по различным мусорным ящикам: отходы органического происхождения, зола и прочий мусор. Затем он договорился о максимальном, насколько это возможно, извлечении тех материалов, которые еще можно использовать, получая прибыль на этой стадии своей работы.

Благоприятные результаты реформ Варинга вскоре стали очевидны. Уборка мусора стала более эффективной, и ежедневная стоимость уборки одной мили улицы упала примерно в два раза по сравнению со стоимостью в 1895 г. Здоровье населения также улучшилось. Согласно данным Варинга и Отдела здравоохранения, процент смертности и заболеваемости резко снизился. Среднегодовой процент смертности в Нью-Йорке (на 1000 чел.) в 1882—1894 гг. составлял 26,78, а за первую половину 1897 г. — только 19,63. Существенно уменьшилось и количество кишечных расстройств.

Для окончательного удаления отходов Варинг использовал как старые, так и новые методы. Большинство сухих отходов еще могло выбрасываться в море, по крайней мере, до тех пор, пока не были закончены и проанализированы эксперименты по научно обоснованному сжиганию отходов. А до этого времени комиссар рекомен-

довал использовать саморазгружающиеся самоходные баржи для их перевозки.

Что касается гниющих отходов, то в этом случае Варинг в большей степени полагался на восстановление и повторное использование веществ. В процессе восстановления из мусора выделялись побочные продукты — аммиак, клей, жиры и сухой остаток для удобрения. При сборе этих материалов город мог получить заметный доход. Примерно 8,5% гниющих городских отходов переправлялись на остров Баррен-Айленд, где по контракту с городскими властями компания по утилизации отходов восстанавливала их, а побочные продукты продавала. Варинг поощрял опыты с целью создания более эффективных и экономичных методов восстановления и утилизации отходов. Он хотел увеличить количество восстанавливаемых пищевых отходов и поставить весь процесс под контроль муниципальных властей. В конце концов, городское управление построило на этом острове восстановительную фабрику и начало осуществлять программу мелиорации земель на острове Райкерс-Айленд, используя для засыпки золу и другие материалы, остающиеся после сжигания отходов.

Контрасты между методами, практиковавшимися в Нью-Йорке и в Сан-Франциско, были особенно заметны. В Сан-Франциско весь мусор смешивался и использовался главным образом для засыпки. Когда ядовитое зловоние от разлагающихся отходов породило, наконец, колоссальное количество недовольных, «отцы города» решили сжигать весь мусор, не разбирая его. Созданные ими печи для сжигания мусора были единственными, в которых в качестве топлива использовались лишь отходы. Порошок, остававшийся после сжигания, применялся в качестве основы для удобрений, изготовления строительного раствора и клинкера.

Грузовик с бензиновым двигателем постепенно заменил лошадь и повозку в качестве основного транспортного средства при сборе отходов в городах Америки, что помогло повысить эффективность работы сборщиков мусора. Тем не менее эти и другие технологические усовершенствования не привели к фундаментальным изменениям методов сбора мусора в большинстве американских городов. В исследовании, выполненном в Массачусетском технологическом институте в 1902 г., были рассмотрены методы сбора отходов, применяемые в 161 городе. 54 города имели муниципальные системы сбора отходов; в 48 городах сбор отходов осуществлялся на основе контрактов; в 41 городе использовалась система сбора частным порядком или на основе лицензий; 12 городов не имели вообще никакой системы сбора отходов, а относительно 6 городов не было получено никаких данных. Этот обзор продемонстрировал большое разнообразие использовавшихся методов, многие из которых были малоэффективными или устаревшими. Особенно неэффективной и дорогостоящей была система контрактов.

Очистка улиц по-прежнему вызывала постоянное раздражение. Многие специалисты пошли по пути Варинга и отстаивали методы уборки улиц вручную как наиболее совершенные и дешевые. Дру-

гие считали, что на смену уборщикам улиц должны прийти машины. Получило распространение механическое устройство для подметания мусора, работе которого обычно предшествовало разбрызгивание воды с целью размягчения уличной грязи. Разбрызгиватели были также приспособлены для осаждения пыли и мытья улиц. В одних городах использовали машины с резиновыми швабрами для мытья улиц, в других городах — вакуумные устройства. Полезность тех или иных устройств можно было определить только на месте, так как климатические условия, тип, количество мусора и характер улиц были различны.

Переработка отходов сельского хозяйства. В сельском хозяйстве твердые отходы представляли меньшую проблему. Почти все вновь шло в дело в том или ином виде. Основными потребителями отходов были свиньи и куры. И те и другие всеядны и могут преобразовать в мясо почти любой материал растительного или животного происхождения [11].

Хотя технология приготовления компоста еще не была известна, сельские жители фактически использовали все отходы органиче-

Таблица 1.2. Расход сырьевых материалов в США в 1900—1969 гг. [12, 13]

Год	Все сырье	Продукты питания	Непищевые продукты сельского и лесного хозяйства	Источники энергии*	Руды металлов	Другие негорючие минералы
-----	-----------	------------------	--	--------------------	---------------	---------------------------

Годовой расход, млн. долл. [1967 г.]

1900	17 358	10 448	3347	2447	594	499
1929	31 979	16 834	5608	6508	1663	1179
1949**	44 357	22 279	7017	10 167	2648	1618
1959	53 737	26 411	6987	13 295	3212	3046
1969	68 590	32 275	7431	19 170	4046	4338

Рост, %

1909—1929	43	31	27	94	71	136
1929—1949	39	32	25	56	59	37
1949—1959	21	19	0	31	21	83
1959—1969	28	22	6	44	26	42
1949—1969	55	45	6	89	53	168
1900—1969	295	209	120	683	581	769

* Включая древесину, используемую в качестве топлива.

** Приведены усредненные данные за 1948 и 1950 гг., чтобы уменьшить влияние экономического спада 1949 г.

ского происхождения. Один из видов отходов неорганического происхождения, который обычно невозможно было использовать повторно, — консервные банки, также возвращался в почву. Около каждого дома была небольшая свалка выброшенных консервных банок. Они ржавели и становились частью почвы примерно с той же скоростью, с какой они добавлялись на свалке [11].

В сельских общинах обычно имелся свой старьевщик, который скупал тряпье, старую одежду, бумажную макулатуру, чугунные, стальные, медные или цинковые вещи и переправлял их на фабрику или посреднику для последующего использования.

Объем образования твердых отходов в рассматриваемый исторический период интересно сопоставить с расходом сырья в период с 1900 по 1969 г. (табл. 1.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Priestley J. J. Civilization, Water and Wastes, Chemistry and Industry, pp. 353—363 (Mar. 23, 1968).
2. Refuse Disposal in Greater London (anon.), Greater London Council, London, England, 1969.
3. Rawlinson J. v. IV. A History of Technology, ed. by Singler et al., Clarendon Press, Oxford, 1958, p. 505.
4. Hosch, Karl, Stradhygiene, 18, (10), pp. 228—231, 1967.
5. Erhard, Heinrich. Refuse and Waste Disposal, Druckhaus Lichterfeld GmbH, Berlin, 1964.
6. Refuse Disposal in Greater London (anon.), Greater London Council, London, England, June 1969.
7. Anon. Elektrizitätswirtschaft (Frankfurt am Main), 63, (11), pp. 380—381 (May 1964).
8. Frank Bowerman. Principles and Practices of Incineration, Wiley-Interscience, New York, 1969.
9. Anon. Solid Wastes Management/Refuse Remove Journal, 12, (5), 100—101 (May, 1969).
10. Melosi, Martin, V., The Environment and Disposal of Municipal Refuse, 1860—1920, The Historian, XXXV (4), 621—640, Kingston, R. J. (Aug. 1973).
11. Trembley, Francis J. Times Have Changed Since Livestock Were Garbage Disposal Units, Public Cleansing, London, Mar. 1972, pp. 141—145.
12. Spencer, V. E. Raw materials in the United States economy: 1900—1969. Working Paper 35. Washington, U. S. Bureau of the Census, Juli, 1972. 66p.
13. Second Report to Congress-Resources and Sources Reduction, U. S. EPA, report SW-122, Mar. 1974.

Глава 2. СВОЙСТВА БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Уолтер Р. Ниссен

2.1. ВВЕДЕНИЕ

Прежде всего, необходимо отказаться от предубеждения, что чрезвычайное разнообразие состава и свойств отходов является препятствием на пути решения проблемы их утилизации. Действительно потоки отходов очень разнородны. Следовательно, конструкция систем их использования должна обеспечивать большую рабочую гибкость резервных мощностей, чем это позволяет обычное оборудование. Тем не менее знание характеристик среднего состава и свойств поступающих отходов обеспечивает исходный базис для проектирования. На основании этих усредненных значений необходимо провести оценку выбираемых направлений деятельности. Дополнительно должно быть проведено прогнозирование возможных изменений характеристик отходов.

Ниже приведен перечень некоторых потенциально важных свойств отходов.

При разработке систем обработки отходов часто обнаруживается, что невозможно получить все желательные данные. Многие исследования промышленных и бытовых отходов показали, что трудно избежать ошибок при теоретической оценке объема образования, состава или свойств отходов. Следовательно, рекомендуется, чтобы результаты специальных наблюдений и анализов были проверены на предварительной стадии создания систем обработки отходов. Например, для систем распределения бытовых отходов, на характеристики собираемых отходов могут сильно повлиять место смешивания и образования отходов, климат, количество отходов, практика их обработки и т. д. Для промышленных отходов уникальные способы обработки или оборудование целых заводов могут привести к росту коэффициента образования отходов, который резко отличается от «норм», принятых для других промышленных предприятий.

Помимо местных отклонений в показателях свойств при переработке отходов следует быть готовым к случайным кратковременным или значительным длительным отклонениям. Например, бытовые отходы могут содержать в среднем до 8% металла, но недавно в округе Делавэр (штат Пенсильвания) целая упаковочная тележка стружки магниевового сплава была загружена в печь для сжигания, принадлежащую округу. Оборудованию были причинены сильные повреждения. Продолжительные отклонения могут быть ликвидированы организацией промежуточных мест складирования и накопления городских отходов.

Изменения характеристик должны быть указаны при разработке конструкции или рабочих документов систем обработки отходов. Однако даже с такими мерами предосторожности следует предвидеть самое худшее (банки горючей жидкости, контейнеры с токсическими химическими веществами и т. д.).

Общие, физические и химические параметры, необходимые для классификации твердых отходов [1]

Общие параметры

Состав отходов

- | | |
|---|--|
| <p>А. Домашние, коммерческие и учрежденческие</p> <p>Бумага (выделенная в подкатегории)</p> <p>Пищевые отходы</p> <p>Текстильные изделия</p> <p>Стекло и другие керамические изделия</p> <p>Пластмассы</p> <p>Резина</p> <p>Кожа</p> <p>Металлы</p> <p>Дерево (сучья, опилки)</p> <p>Кирпичи, камни, грязь, зола</p> | <p>Б. Сельскохозяйственные отходы</p> <p>С полей</p> <p>Продукты обработки</p> <p>Отходы выращивания животных</p> <p>Г. Промышленные</p> <p>Д. Горные (металлургические)</p> <p>Е. Специальные</p> <p>Радиоактивные</p> <p>Военное снаряжение и т. д.</p> <p>Патогенные</p> <p>Влага</p> |
|---|--|

Производственные параметры

- Воспламеняемые
- Компостируемые
- Захороняемые
- Утильсырье
- Особо ценные

Физические параметры

Общие отходы

- Размер
- Форма
- Объем
- Масса
- Плотность
- Площадь поверхности
- Компактность
- Сжимаемость
- Температура
- Цвет
- Запах
- Возраст
- Радиоактивность

Физическое состояние:

- твердое вещество
- жидкость
- газ

Твердые отходы

- Растворимые, $\frac{g}{l}$
- Взвешиваемые, $\frac{g}{l}$
- Горючие, $\frac{g}{l}$
- Испаряемые, $\frac{g}{l}$
- Зола, $\frac{g}{l}$:
- растворимая часть, $\frac{g}{l}$
- летучая часть, $\frac{g}{l}$
- твердость

Характеристики частиц

Распределение по размеру

Форма
Поверхность
Пористость
Сорбционные свойства
Плотность
Агрегация

Жидкие отходы

Мутность
Цвет
Вкус
Запах
Температура
Вязкость
Удельный вес

Химические параметры

Общие

pH
Щелочность
Жесткость (CaCO_3)
Проба на метиленовую синь
Биохимическая потребность в кислороде (БПК)
Химическая потребность в кислороде (ХПК)
Активный азот
Активный фосфор
Неочищенное волокно
Органические вещества, %

Параметры сгорания:

теплосодержание
кислородная потребность
температура пламени
продукты сгорания (включая золу)
точка воспламенения
плавление золы и шлак
характеристика пиролиза

Токсичность
Коррозионное воздействие
Взрывоопасность
Другие факторы безопасности
Биологическая стабильность
Призлекательность для паразитов

Неорганические вещества

Содержание влаги
Углерод
Водород
 P_2O_5 и фосфаты
Содержание серы

Общее количество твердых веществ, %:

растворимые
взвешенные
осаждаемые

Растворенный кислород
Давление паров
Коэффициент расширения
Влияние температуры
Образование коллоида

Газообразные отходы

Температура
Давление
Объем
Плотность
Аэрозоли, %
Жидкость, %

Тяжелые металлы:

ртуть
свинец
кадмий
медь
никель

Токсические материалы:

хром
мышьяк
селен
бериллий
асбест

Эвтрофические материалы:

азот
калий
фосфор

Органические вещества

Растворимые, %
Белковый азот

Фосфор
Липиды

Крахмалы
Сахара
Гемицеллюлоза

Лигнины
Фенолы
Бензин

Алкилбензосульфат
Экстракт в хлороформе
Полихлордифенилы
Многоатомные углеводороды

Щелочные металлы
Щелочноземельные металлы
Драгоценные металлы

Витамины (например, В-12)
Ядохимикаты (например, гексахлоран, ДДТ, диэldrин и т. д.)

2.2. СОСТАВ ОТХОДОВ

Твердые отходы возникают почти при любой деятельности человека, и их характеристики обычно связаны с источниками образования.

Категории источников твердых отходов

Ж и л ь е

Жилые дома на одну семью

Жилые дома на две-три и т. д. семьи

Многokвартирные дома

Учреждения

Школы

Городские учреждения

Больницы

Коммерческие источники

Магазины розничной торговли

Учреждения

Станции обслуживания

Товарные склады и большие магазины

Промышленные источники

Потребительские товары

Промышленные товары

Сельскохозяйственные источники

Работа на ферме

Переработка сельскохозяйственной продукции

Животноводческие и птицеводческие фермы

Общие городские источники

Снос и строительство

Очистка улиц и аллей

Парки и пляжи

Очистка бассейнов

Твердые вещества обработки сточных вод (шламы).

В некоторых случаях идентификация категории источника дает представление о вероятном составе отходов (например, домашние, учрежденческие и городские источники). Для других категорий отходов, в частности промышленных и сельскохозяйственных, необходимо иметь дополнительные данные о специфических операциях, вызывающих образование отходов, чтобы точно предсказать их характеристики.

Таблица 2.1. Данные о составе отходов, % по массе

Место отбора пробы	Пищевые отходы	Дворовые отходы	Разные отходы	Стекло, керамика	Металл	Бумажные изделия	Кожа, пластик, резина	Текстиль- ные из- делия	Дерево	Нефть, красители, химические вещества	Общее количество	Библио- графическая ссылка
Округ Дэлэвэр, шт. Пенсильвания, Брумал	17,12	0,32	3,19	11,68	8,15	52,4	3,66	2,10	1,38	—	100	[3]
Округ Фулти, шт. Джорджия, зона Атланты	13,08	1,4	3,18	9,82	8,72	58,34	3,25	1,78	0,43	—	100	[6]
Смешанные	8,4	6,88	10,01	6,85	52,7	1,52	0,76	0,76	2,29		99,98	[13]
Джонсон-сити, шт. Теннесси	34,6	2,3	0,2—9	10,4	34,9	3,4	2,4	2	0,8		100	[16]
Нью-Джерси	10		4	8	51	—	4	—	4		81	[24]
Огайо	28		8	9	42	—	3	—	3		93	[24]
Аризона	22		8	10	43	—	1	—	2		86	[24]
Калифорния	15		2	7	54	—	2	—	2		82	[24]
Теннесси	26		11	11	46	—	5	—	0,3		99,3	[24]

2.2.1. ГОРОДСКИЕ ОТХОДЫ

В США в некоторых регионах почти все отходы собираются муниципалитетами. В других регионах все (или часть) промышленные и коммерческие предприятия должны сами обеспечивать переработку отходов. Из-за этого разнообразия и различных уровней самостоятельного распределения отходов или сбора и использования утильсырья представляется сомнительной концепция создания единого городского управления для их утилизации.

Совокупность домашних и коммерческих отходов

Состав отходов. Данные о составе отходов, полученные на основе изучения 41 источника (США), представлены в табл. 2.1. Эти данные были получены методическим отбором проб, выделением и взвешиванием смешанных коммунальных отходов. Характеристика основных фракций отходов приведена в табл. 2.2. Эти данные свидетельствуют о широких колебаниях среднего состава. Однако удельный вес домашних и коммерческих отходов в большой степени зависит от местных условий. Дворовые отходы очень чувствительны как к географическому расположению, так и ко времени года.

Таблица 2.2. Основные составные части смешанных городских отходов

Компоненты отходов	Описание
Стекло	Бутылки (в основном)
Металл	Консервные банки, провод и фольга
Бумага	Различные типы, некоторые с покрытием
Пластмассы	Поливинилхлорид, полиэтилен, полистирол и другие, которые применяются в упаковочном материале, игрушках и нешерстяных синтетических тканях
Кожа, резина	Обувь, головные уборы, игрушки и т. д.
Текстильные изделия	Синтетические изделия из целлюлозы, хлопка и шерсти
Дерево	Деревянный упаковочный материал, мебель, брезна, ветки
Отходы пищевых продуктов	Кухонные отходы
Различные отходы	Неорганическая зола, камни, пыль
Дворовые отходы	Трава, обрезки кустарника, зарослей

Статистический анализ (табл. 2.3) показывает значительную однородность состава дворовых и других фракций смешанных городских отходов на всем континенте.

Таблица 2.3. Статистическая оценка национального ежегодного среднего состава отходов¹

Виды отходов	Число определений	Средне-взвешенное значение, %	Среднее значение, %	Стандартное отклонение, ‰	95%-ный уровень достоверности ²
Пищевые отходы	38	19,7	19,6	9,08	2,89
Стекло	37	10,1	10,1	4,03	1,3
Металл	37	9,9	9,9	2,03	0,65
Бумага	38	50,8	50,6	11,04	3,51
Пластмассы ³	10	1,7	1,62	1,09	0,69
Кожа и резина ³	10	1,77	1,68	1,59	0,98
Пластмассы, кожа и резина (вместе)	32	3,3	3,3	1,29	0,45
Текстильные изделия	33	3	3	1,96	0,67
Дерево	37	3,5	3,5	4,98	1,6
Итого		100,3	100	—	—

¹ Исключая дворовые и некоторые другие категории отходов.

² Принято, что данные имеют нормальное распределение.

³ Суммированные данные.

Следует отметить, однако, что эти усредненные значения, пределы достоверности и стандартные отклонения не могут характеризовать состав отходов, если число изучаемых мест ограничено. В этом случае на эти величины значительное влияние оказывает увеличение объема сжигания или образования отходов.

Следует ввести также поправку на фракцию «разные отходы». Ясно, что количество этого материала подвергается большим колебаниям (см. табл. 2.1). Включая все данные об этих категориях из табл. 2.1, находим, что их среднее содержание составляет 6,5%. Принимая, что 10%-ное содержание разных фракций является нетипичным, получаем среднее значение в 4%.

Как видно из табл. 2.1, доля дворовых отходов подвержена значительным колебаниям в зависимости от времени года. Можно также наблюдать, что содержание дворовых отходов выше в южных штатах, чем в северных. Исходя из сезонных средних данных (табл. 2.4), были выявлены общие составы отходов (табл. 2.5).

Собранные твердые отходы, перемешанные вместе с другими материалами, могут или терять, или абсорбировать влагу (табл. 2.6).

Прогнозирование состава. Полученный годовой средний состав

Таблица 2.4. Доля дворовых отходов в смешанных городских, %

Зона	Лето	Весна	Зима	Осень	Средне- годовые данные
Северные штаты	33,3 19 13 26,2	17,9 4,2	0,3 0,32 0,26	6,4	
Среднесезонные значения	22,9	11,1	0,3	6,4	10,2
Средние штаты	12,1 12,3	9,5		1,6	
Среднесезонные значения	12,2	9,5		1,6	
Южные штаты	21,1 23,8	9,2	9,81 3,76	5,2	
Среднесезонные значения	22,5	9,2	6,8	5,2	10,9
Все зоны (среднесезонные значения)	20,1	10,2	2,9	4,3	9,4

Таблица 2.5. Средний состав городских отходов, % по массе (1970 г.)

Виды отходов	Лето	Осень	Зима	Весна
Бумага	31	39	42,2	36,5
Дворовые отходы	27,1	6,2	0,4	14,4
Пищевые отходы	17,7	22,7	24,1	20,8
Стекло	7,5	9,6	10,2	8,8
Металл	7	9,1	9,7	8,2
Дерево	2,6	3,4	3,6	3,1
Текстильные изделия	1,8	2,5	2,7	2,2
Кожа и резина	1,1	1,4	1,5	1,2
Пластмассы	1,1	1,2	1,4	1,1
Разные отходы	3,1	4	4,2	3,7

Примечание. Состав отходов зимой для южных штатов такой же, как для осени.

смешанных городских отходов за 1970 г. (см. табл. 2.5) обеспечивает точку отсчета, от которой можно предсказать относительное количество и состав отходов на последующие годы. Методика и результаты предсказаний, которые описываются ниже, основаны на национальной перспективе. Поэтому изменения в отдельном хозяйстве, городе или штате нельзя точно предсказать.

Можно ожидать, что степень образования отходов отразит национальное производство и степень импорта предметов потребления. Для каждого из этих предметов существует время использования между изготовлением и сбросом. Оно колеблется от почти нулевого значения (для газет) до нескольких лет (для пластмасс, мебели или водопроводных систем).

Для прогнозирования количества образующихся отходов может быть применена оценка роста производства предметов потребления (табл. 2.7). Например, показатель для пластмасс был разработан из планируемых средних значений их потребления в упаковке, домашнем хозяйстве, мебели, игрушках и синтетических тканях (с корректировкой на среднее время использования). В результате были получены данные, приведенные в табл. 2.8. Заметим, что эти данные иллюстрируют рост производства первичной продукции, а не отходов.

Изменение состава имеет особо важное значение для систем обработки отходов (дробилки, печи сжигания, заводы компостов). Бумага, картон и другие изделия из древесного волокна. Доля этих компонентов в общем потоке отходов будет возрастать, а это повлечет за собой увеличение объемной массы отходов, неблагоприятно воздействует на сбор, хранение и

Таблица 2.6. Средняя влажность отходов на основе данных по их сбору и сжиганию, % по массе

Виды отходов	Сбор отходов	Сжигание отходов
Пищевые отходы	70	63,6
Дворовые отходы	55,3	37,9
Разные отходы	2	3
Стекло	2	2
Металл	2	6,6
Бумага	8	24,3
Пластмасса	2	13,8
Кожа и резина	2	13,8
Текстильные изделия	10	23,8
Дерево	15	15,4

операции по переработке. Однако увеличение количества бумажной фракции сыграет положительную роль в экономике восстановления бумаги из отходов, что очень важно из-за ограниченных ресурсов древесной бумажной массы к концу 80-х годов.

Металл. Данные показывают небольшое падение процентного отношения массы металла (в основном стали) в отходах к 2000 г., но общая масса будет возрастать, так как значительно увеличится количество собираемых отходов. Стоимость восстановления единицы металла, вероятно, останется стабильной. Как и в прошлом, экономический успех операций по утилизации металла будет, в первую очередь, отражать рыночную конъюнктуру и потребность в металле. Сталелитейная промышленность объявила в 1972 г. о своей готовности получать необожженный лом луженых консервных банок по цене около 15 долл. за 1 т (тем самым стоимость отходов определяется в 1 долл./т только по содержанию в них жести. В 1975 г. была предложена цена в 7 долл./т за обожженный железный лом.

Пластмассы. Предсказанный почти 300%-ный рост содержания пластмассы в общем составе отходов вызывает тревогу. Могут возникнуть проблемы, связанные с горением этого компонента отходов. Ожидается к 2000 г., что фракция поливинилхлорида в отходах пластмассы возрастет приблизительно в 2 раза и почти в 6 раз увеличится выделение хлористоводородной кислоты.

Стекло. Доля стекла в отходах не будет значительно возрастать в следующие 30 лет. Наличие стекла осложняет работу оператора печи для сжигания. Если проблема сортировки стекла не будет решена, то надо идти по пути разработки очень дешевых пластмассовых упаковок для напитков и продуктов, особенно биоразлагающихся.

Пищевые и дворовые отходы. Снижение доли фракции пищевых и дворовых отходов ограничит возможность

Таблица 2.7. Среднегодовое изменение состава отходов, % по массе [28]

Годы	Бумажные изделия	Различные пищевые отходы	Металл	Стекло	Пластмассы	Текстильные изделия	Резина, кожа	Дерево	Дворовые отходы
1968—1970	4,5	1,1	4	5,4	11,9	4,1	3,2	1	2,6
1971—1975	4,5	1,1	4	5,4	11,9	4,1	3,2	1	2,6
1976—1980	3,6	1,1	3,9	3,9	11,4	3,6	3,2	0,9	2,6
1981—1985	3,7	1,8	2,8	2,6	5,6	4,6	3,3	1,1	2,6
1986—1990	4,2	1,6	2,7	2,1	5,6	4,7	3,3	1	2,6
1991—1995	3,9	1,5	1,5	1,7	5	4,4	3,7	0,8	2,6
1996—2000	4	1,4	0,4	0,8	4,7	3,9	3,7	0,9	2,6

использования компостов из отходов и объем удобрений, получаемых из компоста (азот, калий, фосфор).

Характеристики сгорания отходов

Влажность и количество тепла. С постепенным увеличением количества тепла от сжигания сухих отходов эффективная вместимость печей уменьшится. Содержание влаги широко колеблется в зависимости от практики хранения отходов и местных по-

Таблица 2.8. Прогнозируемый средний состав отходов на период 1970—2000 гг. [27]

	1970	1975	1980	1990	2000
Состав, % по массе					
Бумага	37,4	39,2	40,1	43,4	48
Дворовые отходы	13,9	13,3	12,9	12,3	11,9
Пищевые отходы	20	17,8	16,1	14	12,1
Стекло	9	9,9	10,2	9,5	8,1
Металл	8,4	8,6	8,9	8,6	7,1
Древесина	3,1	2,7	2,4	2	1,6
Текстильные изделия	2,2	2,3	2,3	2,7	3,1
Кожа и резина	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
Пластмассы	1,4	2,1	3	3,9	4,7
Разные отходы	3,4	3	2,7	2,4	2,1
Влага	25,1	23,3	22	20,5	19,9
Летучие углеводороды	19,6	20,1	20,6	21,8	23,4
Общее количество золы	22,7	23,4	23,9	22,8	20,1
Зола (без стекла и металла)	6,5	6,2	6,1	6	6

Некоторые относительные данные (по сравнению с 1970 г.)

Количество тепла при сжигании	1	1,02	1,04	1,09	1,17
Количество тепла (на сухой остаток)	1	1	1	1,06	1,09
Численность населения	1	1,05	1,1	1,31	1,51
Количество отходов на душу населения	1	1,13	1,26	1,44	1,66
Теплосодержание отходов на душу населения	1	1,15	1,31	1,57	1,94
Общее количество образуемых отходов	1	1,19	1,38	1,89	2,51
Общее теплосодержание отходов	1	1,23	1,44	2,05	2,93

годных условий, но в среднем снижается благодаря падению доли дворовых и пищевых отходов. Указанное уменьшение среднего количества влаги в отходах и увеличение теплоотдачи повысит температуру отходящих газов, что приводит к сокращению вместимости печи сжигания (например, от 250 т/сут в 1970 г. до 214 т/сут в 2000 г.).

Летучий углерод (сажа). Летучий углерод, содержащийся в отходах (без учета связанного углерода), воздействует на горение, происходящее в объеме печи, и на степень образования сажи. Медленное, но равномерное увеличение содержания сажи (на 19% за 30 лет) положительно скажется на процессе смешивания воздуха с топливом и снизит выброс сгораемых загрязнителей воздуха (окись углерода, сажа и углеводороды). Потребуется усложнение конструкции и разработка усовершенствованных систем.

Зола. Планируется небольшое увеличение общего содержания золы на протяжении 70-х годов, затем небольшое уменьшение в 80-х и 90-х годах нашего столетия. Проблема складирования золы способствует использованию печей сжигания с ограниченным объемом. Содержание золы в отходах, исключая стекло и металл, —

Таблица 2.9. Состав бытовых отходов в различных странах, % по массе [29—31]

Страна	Зола	Бумага	Органические вещества	Металлы	Стекло	Разные отходы
США (1939)	43	21,9	17	6,8	5,5	5,8
США (1970) *	0	44	26,5	8,6	8,8	12,1
Канада	5	70	10	5	5	5
Великобритания	30—40	25—30	10—15	5—8	5—8	5—10
Франция — Париж	24,3	29,6	24	4,2	3,9	14
Швеция	0	55	12	6	15	12
Испания — Мадрид	22	21	45	3	4	5
Швейцария	20	40—50	15—25	5	5	—
Голландия — Гаага	9,1	45,2	14	4,8	4,5	22
Норвегия (лето)	0	56,6	34,7	3,2	2,1	8,4
Норвегия (зима)	12,4	24,2	55,7	2,6	5,1	0
Израиль	1,9	23,9	71,3	1,1	0,9	1,9
Бельгия — Брюссель	48	20,5	23	2,5	3	3
Чехословакия — Прага (лето)	6	14	39	2	11	28
Чехословакия (зима)	65	7	22	1	3	2
Финляндия	—	65	10	5	5	15
Польша	10—21	2,7—6,2	35,3—43,8	0,8—0,9	0,8—2,4	—
Япония (1963)	19,3	24,8	36,9	2,8	3,3	12,9

* По данным табл. 2.5 и 2.6.

часть, которая вносит особый вклад в образование загрязнителей воздуха, остается относительно постоянным.

Доля твердых отходов. К 2000 г. возрастет доля отходов на душу населения (приблизительно на 70%). Увеличение теплосодержания отходов, эквивалентное распределению тепла на душу населения, повысится приблизительно вдвое относительно современного уровня. Таким образом, при стабильном уровне населения и увеличении объема отходов на 70% потребуется довести вместимость печей сжигания до 200% относительно 1968 г. Ожидается, что население США за анализируемый период возрастет на 51%, поэтому приблизительно в 2,5 раза увеличится количество отходов, теплосодержание повысится почти на 300% по сравнению с 1970 г.

Составы смешанных городских отходов за пределами США характеризуют данные табл. 2.9. Интересно, что применение угля для отопления (Чехословакия, Норвегия) оказывает значительное влияние на состав отходов.

Городские твердые отходы от специфических источников. Ниже приведены данные, характеризующие состав отходов нескольких специфичных источников.

Отходы из зон отдыха (табл. 2.10).

Таблица 2.10. Состав твердых отходов из зон отдыха, % по массе [36, 37]

Источник отходов	Пищевые отходы	Бумага	Стекло	Металл	Пласт-масса	Разные отходы	Сгораемая фракция (за исключением пищи)	Несгораемая фракция
1. Зоны пикников								
Семейные пикники	44	—	—	—	—	—	29	27
Групповые пикники	29	—	—	—	—	—	31	40
Смешанного типа	31	29	17	17	1	5	30	39
2. Организованные лагеря	59						18	23
3. Зоны временных баз	24—50	(37% в среднем)					12—40	21—45
4. Зоны отдыха	24						41	35
5. Круглосуточные дачные домики	34						33	33
6. Дневные дачные домики	17						59	24

1. Зоны пикников. Состав твердых отходов, оставшихся в зонах пикников [36, 37], отражает средние величины приблизительно для 200 человек. В большинстве случаев несгораемыми фракциями отходов групповых пикников оказались консервные банки и бутылки.

2. Организованные лагеря. Отходы детских и городских лагерей, главным образом, результат приготовления пищи. В основном это мокрые кухонные отходы и бумага. Коробки и упаковочный материал часто выбрасывались в начале недели, когда пополнялись запасы.

3. Зоны временных баз отдыха. Состав отходов в зонах отдыха является непостоянным по сравнению с составом обычных домашних отходов, в них больше пищевых и меньше сгораемых отходов.

4. Зоны отдыха и дачи. Состав твердых отходов, создаваемых в зонах отдыха (например, в охотничьих домиках, лагерях), приближается к составу средних домашних отходов. Некоторое увеличение доли пищевых отходов, вероятно, отображает использование на месте свежих овощей и фруктов и отсутствие дворовых отходов, которые «разбавляют» обычные отходы в летние месяцы.

Громоздкие отходы. Парки, квартиры и коммерческие предприятия создают существенные количества твердых отходов, которые являются слишком большими по размеру, чтобы их можно было сжечь в обычных печах. Сверхразмерными считаются предметы объемом $0,283 \text{ м}^3$ и линейными размерами, превышающими 1,5 м [38]. Отходами, попадающими в категорию громоздких, являются: мебель, электроприборы, кровати, обрезки дерева и бревна, столбы, мусор строительный и от сноса зданий.

В обычных автомашинах для сбора мусора или системах распределения эти отходы не помещаются, поэтому их обычно собирают отдельно от домашних (коммерческих). Состав этих отходов очень разнообразен и зависит от источника.

Путем подбора соответствующего оборудования объем сжигаемых отходов уменьшается до 70% от первоначального, а измельчаемого до 50%. К несгораемой и неизмельчаемой части (около 30%) относят, в основном, металл. Данные о составе громоздких отходов, собранных на протяжении недели в Нью-Йорке, представлены табл. 2.11. Коммерческий громоздкий материал на 65% состоит из сгораемого и размельчаемого.

Мусор с улиц и очистка бассейнов. Состав мусора с улицы представлен данными табл. 2.12 и рис. 2.1. Наибольшее количество растительных отходов (53%) приходилось, естественно, на осень (октябрь и ноябрь). В период марта по сентябрь растительный мусор составлял только 10% от материала очистки улиц и почти отсутствовал в зимние месяцы.

Материал, который может быть собран при уборке улиц, отлагается после дождя в бассейнах-ловушках систем коллектора для сброса дождевых вод. Состав этих твердых отходов, как и остаток после уборки, очень разнообразен (табл. 2.13).

Т а б л и ц а 2.11. Состав громоздких отходов (1968 г.) [38]

Компоненты отходов	Содержание, % по массе
Деревья, пни, ветки	3
Мебель, арматура, электроприборы	41
Брошенная мебель, отходы реконструкции (сгораемые)	6
Картон и бумага	1
Мусор (сгораемый)	16
Несгораемые фракции	33

**Т а б л и ц а 2.12. Состав отходов, получаемых при очистке улиц,
% по массе [39, 40]**

Зона	Ветошь	Бумага	Пыль	Трава и листья	Стекло и камни
Пригородная ¹	0,2	4,7	72	11,1	12
»	0,2	4,1	63	21,2	10,3
Промежуточная	2	13	53	23	9
Плотно населенная	4	49	24	7	16
Промышленная	3	19	54	20	4
Центр города (коммер- ческий)	1	19	34	37	9

¹ Исключаются месяцы листопада.

Т а б л и ц а 2.13. Состав содержимого бассейнов-ловушек, % по массе [39]

Компоненты отходов	Бассейн № 1	Бассейн № 2
Влага	39,4	43,3
Твердые осадки:		
органические	3,6	4,4
зола и песок	8	18,4
ил, глина	49	33,9

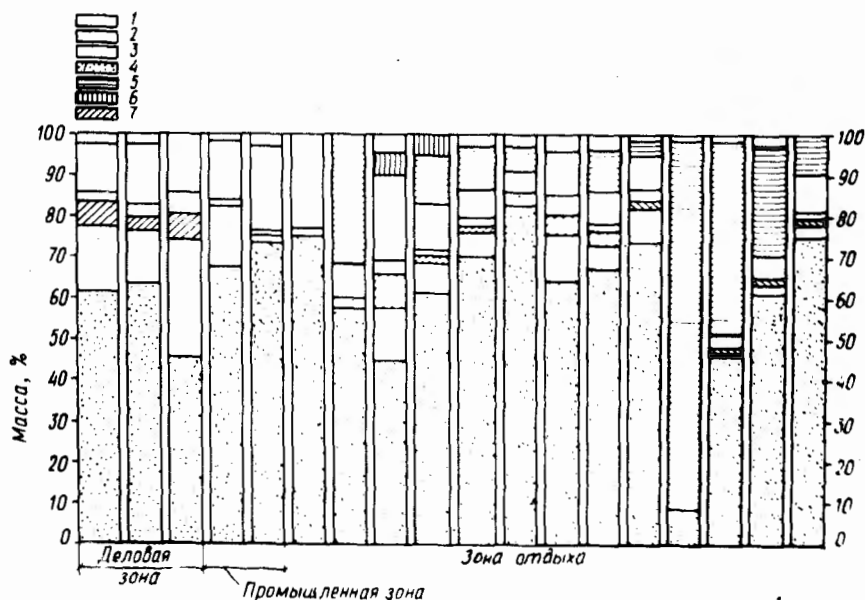


Рис. 2.1. Колебания в составе уличного мусора. Чикаго, 1968 [39]

1 — камень, 2 — металл; 3 — бумага; 4 — мусор; 5 — растительные отходы; 6 — дерево; 7 — стекло

Отходы от разборки зданий. Состав этих отходов зависит от характера постройки, степени разрушения. Основываясь на анализе нескольких гипотетических конструкций, был подготовлен расчет о доле сгораемых отходов в общем количестве отходов, представленный в табл. 2.14.

Таблица 2.14. Состав отходов от разборки зданий [41]

Тип конструкции	Содержание сгораемых отходов, % по массе
Односемейный каркасный (1 этаж)	13
Двухсемейный кирпичный (1 этаж)	9
Двухсемейный каркасный (2 этажа)	12
Двухсемейный кирпичный (2 этажа)	8,5
Шестисемейный каркасный (3 этажа)	11,5
Шестисемейный кирпичный (3 этажа)	8
Промышленное здание (1 этаж)	5

Примечание. Размеры жилых домов 16,763×6,705 м, промышленного здания 30,479×60,96 м.

Мусор. Мусор содержит твердые отходы, свободно лежащие на земле из-за умышленной или неумышленной неаккуратности. В городах состав мусора может быть определен из состава мусора при очистке улиц (см. табл. 2.12) путем исключения фракций пыли, грязи, камней и листьев [42].

2.2.2. КОММЕРЧЕСКИЕ И УЧРЕЖДЕНЧЕСКИЕ ОТХОДЫ

Совокупность коммерческих и учрежденческих отходов. Коммерческие и учрежденческие отходы (образуемые в магазинах, учреждениях, больницах и школах) составляют важнейшую часть отходов. Данные, приведенные в табл. 2.15, иллюстрируют состав коммерческих отходов. По сравнению со смешанными муниципальными в них содержится намного больше бумаги. Значительная доля приходится на упаковочные материалы с высоким содержанием пластмасс. Данные из Кентукки [23] согласуются с данными из Нового Орлеана [11], которые подтверждают наличие в коммерческих отходах 84% сгораемых материалов. Громоздкие отходы, исследованные в Нью-Йорке [38], содержали приблизительно 65% сгораемых веществ, большинство из которых можно раздробить. Остальные 35% несгораемых материалов, как отмечалось, почти полностью не поддаются дроблению.

Отходы медицинских учреждений. Исследования, проведенные в университете Миннесота [43], показали, что отходы имеют состав, представленный в табл. 2.16. Исследования проводились в больнице, рассчитанной на 430 коек.

Таблица 2.15. Состав коммерческих отходов, % по массе

Виды отходов	Коммерческие отходы		Отходы мест отдыха
	Кентукки [23]	Мичиган [20]	
Металл	10,6	6	8,6
Бумага	60,4	57	44
Пластмассы	9,4	1	1,4
Кожа и резина	—	—	1,5
Текстильные изделия	—	1	2,6
Дерево	—	2	3
Пищевые отходы	7,1	24	17,1
Дворовые отходы		0	9,4
Стекло	11,3	6	8,8
Разные отходы	1,2	3	3,6

Таблица 2.16. Состав больничных отходов [43], кг

День недели	Компоненты отходов				
	иглы	стекло	коробки	осталь- ные	итого
Понедельник	2,17	110,4	153,8	902,3	1032,79
Вторник	1,4	127,3	101	668,3	1020,3
Среда	0,4	161,2	103	787,2	1051,7
Четверг	2,4	180,3	133,7	961,7	1278,1
Пятница	3,9	146,1	123,5	820,9	1094,5
Суббота	7,7	76	28,6	384,2	496,4
Воскресенье	1,5	52,5	65,1	444,9	564
Итого	19,5	853,8	708,6	5091,8	6673,9
%	0,3	12,8	10,6	76,3	100

2.2.3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ

С промышленными твердыми отходами (включая ил, тину) связаны основные проблемы переработки твердых отходов в США. Для планирования и управления планами размещения отходов, выбора наиболее эффективного варианта их переработки необходимы точные сведения о их количестве и составе. Проблема получения информации от производственного сектора одна из сложнейших и затрагивает следующие факторы:

наблюдаются широкие колебания в объеме образования отходов даже для предприятий одинакового профиля;

большинство фирм сопротивляется сообщению о видах выпускаемой продукции из опасения, что эти данные будут использованы конкурирующими фирмами;

некоторые фирмы не дают сведений об объеме отходов и их составе, так как это может обнаружить нарушение правил охраны окружающей среды; чаще всего проявляется тенденция к занижению количества отходов;

промышленная деятельность подвергается сезонным колебаниям;

степень сбора и использования утильсырья, а также продажи покупателям металлического лома сильно колеблется для разных изготовителей;

многие фирмы, недостаточно понимая свои потребности в размещении отходов, не ведут их учета.

Из данных табл. 2.17 видно, что в них мало пищевых и дворовых отходов и много пластмасс, а в целом совокупный материал не отличается от обычной смеси муниципальных отходов.

Таблица 2.17. Общий состав промышленных отходов, % по массе

Виды отходов	Патерсон [12]	Клифтон [12]	Пассайк [12]	Уэйн [12]	Зона Цуулоа (Гавайя) [44]
Бумага	45,5	38,3	36	63,4	43
Дерево	13	3	11,2	1	27
Пластмасса	7	10,8	17	25,4	1
Стекло	6,5	1,7	2,1	0,4	13
Металлы	5,5	6	2	0,7	16
Камни, песок	5,6	6,5	4,4	—	—
Органические вещества	0,1	5,5	5,2	0,2	—
Текстильные изделия, мешковина	6,9	1,2	2	2,7	—
Керамика	—	0,5	0	—	—
Неорганические вещества	—	0,5	—	0,2	—
Нефтехимические продукты	0,9	5	0,8	0,4	—
Резина	—	1,2	5,6	0,3	—
Смешанные коммерческие отходы	0,2	7,5	5,6	0	—
Продукты питания	4,2	8,3	—	4,5	—
Разные отходы	4,6	4	7,5	0,7	—

Сравнение средних данных в большом географическом регионе, однако, может привести к ошибке при решении проблемы обработки и размещения отходов. Трудности возникают с материалами, содержащими микропримеси (например, токсичные, сильно красящие, воспламеняемые или взрывчатые). Состав отходов в контейнере от отдельного аппарата может содержать взрывоопасные или пожароопасные вещества или обладать свойствами, мешающими переработке отходов.

Автомобильный скрап. Современная техника дробления и сортировки позволяет отделять металлы, их сплавы и неметаллические детали автомобилей. Большое количество автомобильных деталей обрабатывается для утилизации металла. Типичный состав корпуса автомобиля представлен в табл. 2.18.

Т а б л и ц а 2.18. Состав выброшенного автомобильного корпуса

Компоненты разрезанного необожженного автомобильного скрапа [46]		
Компоненты отходов	Содержание, % по массе	Содержание железа, %
Тонкий металл (<3,175 мм)	58,9	97
Толстый металл (>3,175 мм)	20,8	99
Грязь и стекло	10,8	21
Нержавеющая сталь	0,3	74
Другие металлы	1,3	—
Сгораемые материалы	7,9	80,2

Количество утилизируемого металла автомобилей [47]	
Компоненты отходов	Масса, кг
Железо в пакете	1184
Отливки железа	194,5
Медь:	
корпус радиатора	7
провода	6,3
желтая латунь	1,2
Цинк, отливка в форму	24,6
Алюминий, отливка и т. д.	22,9
Свинец	.
Аккумуляторная батарея	9
Зажимы аккумуляторной батареи	0,2
Итого	1449,8

Подготовка угля. В шахтоугольных работах большой тоннаж отходов идет в отвалы. Из-за выщелачивания и окисления содержащейся в отходах серы кислотные воды часто стекают с зон хранения. Данные в табл. 2.19 показывают содержание серы в верхнем 10-см слое отходов углеобогащения.

Скрап электронного оборудования. Этот вид скрапа во всевозрастающей степени входит в поток отходов.

Хотя скрап электронного оборудования составляет только небольшую часть общих отходов, он часто содержит восстанавливаем-

Таблица 2.19. Содержание серы в верхнем 10-см слое отходов завода по обогащению угля, % [48]

№ пробы	Содержание серы, %			
	общее	в виде сульфата	пиритной	органической
1	5,77	4,83	0,29	0,65
2	9,12	3,36	4,08	1,68
3	14,05	3,27	10,6	0,18
4	14,02	2,73	9,78	1,51
5	7,77	3,07	3,7	1
6	5,35	3,94	0,72	0,69
7	5,82	5,05	0,078	0,69

Примечание. Состав почвы: 34,7% глины, 37,8% карбонатной породы, 27,5% сланцев.

мые ценные металлы. Данные, приведенные в табл. 2.20, иллюстрируют типичный состав.

Таблица 2.20. Состав скрапа электронного оборудования [49]

Состав элементов, кг/т			
Виды отходов	Чистое серебро	Золото	Палладий
Платы схем	0— 0,18	0—3,6	0—0,08
Соединительные разъемы	0— 5,14	0—0,61	
Реле	0—20,35	0—0,01	
Сильфоны термостатов	—	49,39	
Волноводы	12,88	—	

Состав скрапа

Компоненты	Единица измерения	Скрап бомбардировщика В47	Общий скрап
Медь	% по массе	14,1	22,9
Алюминий и магний	то же	42,7	30,1

Компоненты	Единица измерения	Скрап бомбардировщика B47	Общий скрап
Железо	% по массе	22,7	16,6
Пластмасса, керамика, разное	»	18,5	30,1
Серебро	кг/т	1,79	30,54
Золото	»	0,015	0,33
Платина	»	0,00004	0,3
Палладий	»	0,033	0,001
Рений	»	—	0,01

Дубление кожи. Исследования, выполненные в Орегоне [45] для двух дубильных мастерских (приблизительно 50 рабочих мест), выявили средний состав отходов — 58% отходов животного происхождения (в основном оленьих и коровьих, небольшого количества лошадиного мяса и остатки шкуры) и 42% илистых шламов по объему (25,6 и 74,4% соответственно по массе).

Лесозаготовка, лесопилка и обработка лесоматериалов. Хотя большинство этих отходов остается в лесу (и поэтому не представляет проблемы), лесозаготовка и лесопереработка «несут ответственность» за образование отходов в большей степени, чем любая другая деятельность. Лесные отходы оцениваются в 0,75—1 т на 300 м готовых лесоматериалов [1, 45]. В прошлые годы эти отходы часто сжигались на месте. Но усиливающийся контроль органов за состоянием окружающей среды ограничивает такие действия.

Отходы от распиловки и обработки, достигающие 45% их массы, содержат около 34,5% коры, 15,4% опилок, 8,5% обрезков, 21,9% струганых грубых отходов и горбыля, а также 19,6% сухих филинок и другие потери [1]. Эти отходы часто сжигаются на кострах.

Отходы горного производства. При обработке руд наряду с концентратами необходимых металлов образуется большое количество отходов. Типичный анализ таких остатков на наличие таконита, меди, свинца, цинка в операциях по обработке руды [50] представлен в табл. 2.21.

Шламы целлюлозно-бумажной фабрики. При изготовлении тонкой бумаги в воде, выходящей с отходами обработки, из-за использования наполнителей, пигментов и покрытий содержится значительное количество золы (табл. 2.22).

Железнодорожный скрап. Каждый год от 50 тыс. до 90 тыс. из почти 2 млн. железнодорожных товарных вагонов в США изымаются из обращения и разрушаются. В последнем исследовании бюро по обработке твердых отходов [52] были проанализированы

Таблица 2.21. Состав типичных остатков руды, % по массе [50]

Компоненты	Таконит	Медь	Цинк—свинец
SiO ₂	59	71,1	9,8
Fe	15	3,4	<0,8
Al ₂ O ₃	2,7	13,2	0,3
MgO	3,7	2,1	17,8
CaO	2,7	1,1	29,4
Na ₂ O	—	0,3	—
K ₂ O	—	3,3	—
Потери при сгорании	7,4	2,6	42

Таблица 2.22. Состав кальцинированного шлама целлюлозно-бумажной фабрики [51]

Компоненты	Содержание, % по массе	Компоненты	Содержание, % по массе
SiO ₂	14,6	MgO	0,9
Al ₂ O ₃	40,6	Na ₂ O	0,3
Fe ₂ O ₃	1,5	K ₂ O	0
TiO ₂	1,5	SO ₃	0,3
CaO	7,4	P ₂ O ₅	0,8
		Другие	0,2

результаты этого разрушения и направления использования утиля (табл. 2.23).

Обработка риса. При обработке около 15% сырого риса теряется в шелухе (500 224 т шелухи от 2 942 496 т риса в 1954 г.) [53]. Размещение отходов риса вследствие высокого содержания золы и тенденции к образованию медленно сгорающего угля представляет собой сложную проблему. Состав отходов шелухи риса представлен в табл. 2.24.

Производство резиновых изделий. Состав твердых отходов, образуемых на 6 категориях предприятий, представлен в табл. 2.25.

Регенерирование резиновых изделий. Ниже приведены данные о составе отходов промышленности регенерирования, полученные Агентством охраны окружающей среды в 1968 г. [54].

Т а б л и ц а 2.23. Состав скрапа железнодорожных товарных вагонов в США [52]

Номенклатура товарных вагонов и степень их разборки (1962)			
Тип вагона	Количество активных единиц, тыс. шт.	Средний возраст, лет	Количество вагонов, разоб- ранных в 1967 г., тыс. шт.
Крытый грузовой вагон	665	18	35,3
Платформа	50	22	1,3
Стандартный вагон	29	34	—
Полувагон	256	17	14,4
Хоппер	471	18	17,8
Крытый хоппер	65	10	1,2
Вагон-цистерна	5	35	—
Рефрижераторный вагон	25	20	4,3
Стеллажный вагон	38	23	—
Другие	2	31	2,8
Итого	1606	Среднее 18	Итого 77

Продолжение табл. 2.23

Состав скрапа, т/вагон

Показатель	Вместимость товарного крытого вагона, т		
	40 (старые вагоны)	50	70 (новые вагоны)
Общее количество металла	17—20	20—21	24
Товарные вагоны	6	7	8,5
В том числе:			
утиль	1,5	1,5	1,5
железный скрап	4,5	5,5	7
Каркас (включая основание)	11—14	13—15	15,5
В том числе:			
утиль	0,5—1	0,5—1	0,5—1

Показатель	Вместимость товарного крытого вагона, т		
	40	50	70
	(старые вагоны)		(новые вагоны)
железный scrap	10—13,5	12—14,5	14,5—15
Типичное отношение утиль — scrap:			
утиль	2—3	2—3	2—3
scrap	15—17	17—19	21—22

Таблица 2.24. Состав отходов шелухи риса [53]

Анализ шелухи	
Компоненты	Содержание, % по массе
Влага	8,47—11
Зола	15,68—18,59
Сырой белок	2,94—3,62
Экстракт, растворимый в эфире	0,82—1,2
Сырое волокно	39,05—42,9

Продолжение табл. 2.24

Анализ золы			
Компоненты	Содержание, % по массе	Компоненты	Содержание, % по массе
SiO ₂	94,5	Na ₂ O	0,78
CaO	0,25	P ₂ O ₅	0,53
MgO	0,23	SO ₄	1,13
K ₂ O	1,1	Другие	Следы

1. Регенерирование резины. При переработке 261 216 т бракованных изделий или отходов резины (плюс некоторое количество новой резины) образуется 260 362 т изделий и 28 123 т (83%) отходов от шинного производства и 5897 т (17%) от упаковки.

2. Восстановление протектора шины. Из 707 604 т-отходов резины и использованных шин образуется 44 452 т отходов: 42 638 т

Таблица 2.25. Состав отходов производства резиновых изделий [54]

Виды отходов	Шины	Обувь	Пояса, ремни	Шланги	Губка	Механи- ческие товары
Бумага, кар- тон, дерево	100,5 ¹	8,5	6,8 ¹	11,7 ¹	9,6	65,5
Резиновые соединения	89,3 ²	45 ¹	10,2 ²	19,2 (брак)	54 ²	140,7
Текстильные отходы	44,2 ³	35 ¹	6,3 ²	6,3 ¹	0,1	42,8
Металлы	72,7 ⁴	0,5	0,6 ⁵	3,66	0	21,3
Разные отходы	105,2	17,5	7,6	17,2	16,2	102
Всего	411,9	104,5	31,5	58	79,9	372,3

Продолжение табл. 2.25

Состав отходов, % по массе

Бумага, кар- тон, дерево	24,4	8,1	21,6	20,2	12	17,6
Резиновые соединения	21,7	43,1	32,4	33	67,6	37,8
Текстильные отходы	10,7	31,6	20	10,9	0,1	11,5
Металлы	25,5	16,7	24,1	29,7	20,3	27,4

¹ В упаковке.² Обрезки.³ Корд шины.⁴ Борт шины.⁵ Усиливающий каркас.⁶ Формы для изготовления.

(86%) приходится на долю шлифовки и 1814 т. — на долю упаковки.

3. Дробление шины. При переработке 26036 т отходов и использованных шин образуется 2041 т (41%) проволоки корда, 1360 т (27%) непригодных материалов, 1588 т упаковочного материала и других отходов.

Дросс алюминизации стали. При алюминизации стали ежегодно в США [55] образуется несколько сотен тонн дросса. Результаты анализа 100-фунтового образца дросса фирмы «Кейстоун металл» приведены в табл. 2.26.

Таблица 2.26. Состав дросса алюминизации стали [55]

Общий состав, % по массе	
Компоненты	Содержание, % по массе
Алюминий	55—65
Кремний	5—9
Железо	10—25
Цинк	0—6

Состав 45-килограммового образца, % по массе

Компоненты	№ пробы		Среднее значение
	1	2	
Al	56	55,3	55,7
Fe	28,2	34,7	31,5
Si	6,85	7,87	7,36
Zn	0,02	1,1	0,56
Ca	0,12	—	0,12
Cu	0,02	—	0,02
Mn	0,07	—	0,07
Ni	0,03	—	0,03
Итого	91,31	98,97	95,36

Производство табачных изделий. В последних исследованиях промышленности табачных изделий [56] Агентство охраны окружающей среды (США) приводит данные, характеризующие состав и степень образования отходов для четырех основных отраслей промышленности. В промышленности в целом, как показало исследование, образуется 3 т отходов в год на каждого рабочего.

Операции по набивке создают 7711 и 2449 кг отходов в одну смену при работе с табаком «Брайт» и «Берли» соответственно. В основном это песок, мелкая глина и мелкий табак. Дополнительно около 14,5 кг в смену было собрано в столовой и у автоматов для продажи мелких предметов, кроме того, производилось 245 кг в день пищевых и металлических отходов.

Отходы при изготовлении сигарет — около 92% бумаги и по 2% дерева, металла и табака. 1% приходится на долю пищевых отходов и бумажной макулатуры из столовой.

При производстве сигар образуется 6441 кг отходов в неделю, это 2449 кг обрезков обертки, 3175 кг срезов сердцевины и мелкого табака и 816,5 кг других срезов и шелухи. Согласно исследованиям, только 816,5 кг отходов нуждаются в захоронении при общем количестве недельных отходов 16,82 м³.

2.3. СВОЙСТВА ОТХОДОВ

Определение основного состава потока смешанных отходов является первым шагом в анализе систем управления твердыми отходами. Однако для конструирования оборудования и разработки процессов необходимо полное понимание физических, химических и биологических свойств смешанных отходов и их компонентов.

2.3.1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Смешанные коммунальные отходы. Химический анализ смешанных коммунальных отходов колеблется на протяжении года и в различных местах. Исследования, проведенные под руководством Агентства охраны окружающей среды США, позволили выявить [7] средний состав для различных категорий отходов (табл. 2.27), а на его основе — состав смешанных отходов (табл. 2.28).

Городские, коммерческие, учрежденческие и промышленные отходы. Химический состав этих отходов определяется химическим составом входящих в них компонентов (табл. 2.29).

Анализ на наличие специфических элементов в отходах. Из-за токсикологической опасности, усиления коррозии в оборудовании для обработки отходов, потенциальной возможности загрязнения воздуха или воды необходимо определять концентрации некоторых элементов в отходах.

Хлор. Хлор, обычно в виде хлоридов металла, например, хлористый кальций и хлористый натрий, находится во многих компонентах отходов, в частности в летучей золе печей для сжигания. Эти твердые хлориды могут принимать участие в реакциях, протекающих при коррозии, в печах сжигания или в бойлерах. Хлориды также ускоряют коррозию металла в системах влажной газоочистки, где рециркулируют разные растворы. На свалках хлориды (большинство которых растворимо) выщелачиваются дождевой водой.

Значительное внимание необходимо уделять хлору, содержащемуся в поливинилхлориде и поливинилиденхлориде (домашние вещи, упаковка и пленка, игрушки и т. д.). Чистая смола поливинилхлорида (т. е. без пластификаторов, наполнителей, пигментов и т. д.) сгорает на воздухе полностью, превращая хлор в хлористый водород (соляная кислота). Таким образом, каждый фунт поливинилхлорида образует около 270 г хлористого водорода (соляной

Таблица 2.27. Химический анализ отходов, % по массе (по сухому остатку) [7]

Виды отходов	C	H	O	N	Зола	S	Fe	Al	Cu	Zn	Pb	Sn	P, за исклю- чением СаРО ₄	Cl ⁻	Se	Содержание фиксированного углерода
Металл	4,5	0,6	4,3	0,05	90,5	0,01	77,3	20,1	2	—	0,02	0,6	0,03	—	—	0,5
Бумага	45,4	6,1	42,1	0,3	6	0,12	—	—	—	—	—	—	—	—	Сле- ды	11,3
Пластмассы							—	—	—	—	—	—	0,01	6	—	5,1
Кожа и резина	59,8	8,3	19	1	11,6	0,3	—	—	—	2	—	—	—	—	—	6,4
Текстильные изделия	46,2	6,4	41,8	2,2	3,2	0,2	—	—	—	2	—	—	0,03	—	—	3,9
Дерево	48,3	6	42,4	0,3	2,9	0,11	—	—	—	—	—	—	0,05	—	—	14,1
Пищевые от- ходы	41,7	5,8	27,6	2,8	21,9	0,25	—	—	—	—	—	—	0,24	—	—	5,3
Дворовые от- ходы	49,2	6,5	36,1	2,9	5	0,35	—	—	—	—	—	—	0,04	—	—	19,3
Стекло	0,52	0,07	0,36	0,03	99,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,4
Разные отходы	13 *	2 *	12 *	3 *	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,5

Расчетное.

Таблица 2.28. Химический анализ среднегодовых смешанных коммунальных отходов [1968] [7]

Виды отходов	Масса, %		Содержание, % влаги (по данным сбора)	Состав отходов, кг/100 кг сухих веществ						Масса отходов, кг/100 кг сухих веществ
	по данным сжигания	по данным сбора		зола	C	H ₂	O ₂	S	N ₂	
Металл	8,7	8,2	2	10,13	0,5	0,067	0,481	0,0011	0,0056	11,19
Бумага	44,2	35,6	8	2,74	20,7	2,781	19,193	0,0547	0,1368	45,59
Пластмасса	1,2	1,1	2	0,17	0,9	0,125	0,285	0,0045	0,015	1,5
Кожа и резина	1,7	1,5	2	0,24	1,23	0,17	0,39	0,0062	0,0205	2,05
Текстильные изделия	2,3	1,9	10	0,08	1,1	0,152	0,995	0,0048	0,0523	2,38
Дерево	2,5	2,5	15	0,09	1,43	0,178	1,26	0,0033	0,0089	2,96
Пищевые отходы	16,6	23,7	70	2,17	4,13	0,574	2,73	0,0248	0,2772	9,9
Дворовые отходы	12,6	15,5	50	0,54	5,31	0,701	3,89	0,0378	0,3129	10,79
Стекло	8,5	8,3	2	11,21	0,06	0,008	0,041	—	0,0034	11,32
Разные отходы	1,7	1,7	2	1,62	0,3	0,046	0,278	—	0,0696	2,32
Итого	100	100	—	28,39	35,66	4,802	29,543	0,1372	0,9022	100

Среднее содержание элементов (по данным сжигания)

Компоненты	Содержание, % по массе
Влага	28,16
Углерод	25,62
Водород (связанный)	2,65
Кислород (связанный)	21,21
Водород	0,8
Сера	0,1
Зола	20,82
Азот	0,64

кислоты). Хотя некоторая часть хлористого водорода взаимодействует с основными окислами в летучей золе [8], основная часть остается в газообразной фазе. Этот газообразный хлористый водород вызывает коррозию металлических поверхностей с высокой температурой, например трубы перегревателя [60, 61], и адсорбируется в водах газоочистки, образуя раствор с высокой степенью кислотности. Оценка содержания поливинилхлорида в пластиках, а также хлорида в отходах и угле приведена в табл. 2.30 и 2.31.

Таблица 2.30. Содержание поливинилхлорида в коммунальных отходах [7]

Год	Содержание пластмасс в отходах, % по массе	Содержание поливинилхлоридной смолы в отходах пластмасс, % по массе
1968	1,1	7,8
1970	1,3	10
1975	1,8	10,6
1980	2,7	8,7
1990	3,5	10,9
2000	4,2	11,2

Таблица 2.29. Химический анализ компонентов отходов и их теплотворная способность [8, 13, 14, 57—59]

Виды отходов	Предварительный анализ, % по массе				Окончательный анализ (по сухому остатку), % по массе						Высшая теплотворная способность, кДж/кг		
	влага	лету- чие	фикси- рованный углерод	несгорае- мые фракции	C	H	O	N	S	несго- раемые фракции	пред- вари- тельный анализ	по сухому остатку	с учетом влаги и зола
<i>Бумага и бумажные изделия</i>													
Бумага сме- шанная	10,24	75,94	8,44	5,38	43,41	5,82	44,32	0,25	0,2	6	15 817	17 612	18 736
Газетная бумага	5,97	81,12	11,48	1,43	49,14	6,1	43,03	0,05	0,16	1,52	18 548	19 724	20 004
Оберточная бумага	5,83	83,92	9,24	1,01	44,9	6,08	47,84	0	0,11	1,07	16 877	17 924	18 143
Специальные журналы	4,11	66,39	7,03	22,47	32,91	4,95	38,55	0,07	0,09	23,43	12 221	12 746	16 631
Гофрирован- ный картон	5,2	77,47	12,27	5,06	43,73	5,7	44,93	0,09	0,21	5,34	16 382	17 280	18 259
Покрывные пла- стиком бумаги	4,71	84,2	8,45	2,64	45,3	6,17	45,5	0,18	0,08	2,77	17 075	17 917	18 468
Вощеный кар- тон	3,45	90,92	4,46	1,17	59,18	9,25	30,13	0,12	0,1	1,22	26 347	27 289	27 656
Бумажные ко- робки для пищи	6,11	75,59	11,8	6,5	44,74	6,1	41,92	0,15	0,16	6,93	16 883	17 980	19 190
Почтовые от- ходы	4,56	73,32	9,03	13,09	37,87	5,41	42,74	0,17	0,09	13,72	14 161	14 835	17 212
<i>Пища и пищевые отходы</i>													
Отходы ово- щей	78,29	17,1	3,55	1,06	49,06	6,62	37,55	1,68	0,2	4,89	4 175	19 236	20 236
Кожица и зер- на citrusовых	78,7	16,55	4,01	0,74	47,96	5,68	41,67	1,11	0,12	3,46	3 970	18 643	19 306

Отходы мяса (вареного)	38,74	56,34	1,81	3,11	59,59	9,47	24,65	1,02	0,19	5,08	17 731	28 942	30 494
Жиры от жар- ки	0	97,64	2,36	0	73,14	11,54	14,82	0,43	0,07	0	98 300	38 300	38 300
Смешанные кухонные от- ходы I	72	20,26	3,26	4,48	44,99	6,43	28,76	3,3	0,52	16	5 513	19 734	23 493
Смешанные кухонные от- ходы II	—	—	—	—	41,72	5,75	27,62	2,97	0,25	21,87	—	16 854	21 539

Деревья, древесина, ветви, растения

Зеленые де- ревья	50	42,25	7,25	0,5	50,12	6,4	42,26	0,14	0,08	1	4 889	9 781	9 886
Гнилой лес	26,8	55,01	16,13	2,06	52,3	5,5	39	0,2	1,2	2,8	10 955	14 812	15 259
Древесина хвойных пород от разрушения	7,7	77,62	13,93	0,75	51	6,2	41,8	0,1	<0,1	0,8	16 980	18 413	18 596
Отходы твер- дой древесины	12	75,05	12,41	0,54	49,4	6,1	43,7	0,1	<0,1	0,6	14 956	16 982	17 073
Мебельная древесина	6	80,92	11,74	1,34	49,7	6,1	42,6	0,1	<0,1	1,4	17 096	18 173	18 468
Вечнозеленые кустарники	69	25,18	5,01	0,81	48,51	6,54	40,44	1,71	0,19	2,61	6 299	20 318	20 841
Бальзамиче- ская ель	74,35	20,7	4,13	0,82	53,3	6,66	35,17	1,49	0,2	3,18	5 692	22 192	22 911
Цветущие рас- тения	53,94	35,64	8,08	2,34	46,65	6,61	40,18	1,21	0,26	5,09	8 599	18 671	19 678
Трава газонов:													
I	75,24	18,64	4,5	1,62	46,18	5,96	36,43	4,46	0,42	6,55	4 787	19 334	20 701
II	65	—	—	2,37	43,33	6,04	41,68	2,15	0,05	6,75	6 257	17 894	19 190

Виды отходов	Предварительный анализ, % по массе				Окончательный анализ (по сухому остатку), % по массе						Высшая теплотворная способность, кДж/кг		
	влага	летучие	фиксированный углерод	несгораемые фракции	C	H	O	N	S	несгораемые фракции	предварительный анализ	по сухому остатку	с учетом влаги и золы

Бумага и бумажные изделия

Листья:													
I	9,91	66,92	19,29	3,82	52,15	6,11	30,34	6,99	0,16	4,25	18 571	20 629	21 562
II	50	—	—	4,1	40,5	5,95	45,1	0,2	0,05	8,2	8 222	16 442	17 910
Древесина и кора	20	67,89	11,31	0,8	50,46	5,97	42,37	0,15	0,05	1	16 049	20 034	20 236
Ветки	40	—	—	5	45,52	5,9	41,2	2	0,05	8,33	11 037	18 375	20 004
Смешанная зелень	62	26,74	6,32	4,94	40,31	5,64	39	2	0,05	13	6 257	16 461	18 922
Трава, грязь, листья	21,62	—	—	—	36,2	4,75	26,61	2,1	0,26	30,08	—	14 617	20 911

Домашние отходы

Обои	6,9	75,96	14,52	2,62	47,1	6,1	43,6	0,3	<0,1	2,8	16 189	17 396	17 887
Одежда	1,02	64,92	27,51	6,55	79,1	6,8	5,9	0,1	1,5	6,6	32 099	32 345	34 657
Кожа	10	68,46	12,49	9,1	60	8	11,5	10	0,4	10,1	18 515	20 585	22 911
Кожаная обувь	7,46	57,12	14,26	21,16	42,01	5,32	22,83	5,98	1	22,86	16 847	18 203	23 609
Подошва и каблуки обуви	1,15	67,03	2,08	29,74	53,22	7,09	7,76	0,5	1,34	30,09	25 351	25 646	36 728
Резина	1,2	83,98	4,94	9,88	77,65	10,35	—	—	2	10	26 051	26 354	29 308

Смешанные пластмассы	2	—	—	10	60	7,2	22,6	—	—	10,2	32 797	33 420	37 216
Пластмассовая пленка	3,2	—	—	—	67,21	9,72	15,82	0,46	0,07	6,72	—	32 206	34 588
Полиэтилен	0,2	98,54	0,07	1,19	84,54	14,18	0	0,06	0,03	1,19	43 466	45 892	46 520
Полистирол	0,2	98,67	0,68	0,45	87,1	8,45	3,96	0,21	0,02	0,45	38 191	38 263	38 402
Полиуретан ¹	0,2	87,12	8,3	4,38	63,27	6,26	17,65	5,99	0,02	4,38	26 058	26 109	27 284
Поливинилхлорид ²	0,2	86,89	10,85	2,06	45,14	5,61	1,56	0,08	0,14	2,06	22 688	22 737	23 260
Линолеум	2,1	64,5	6,6	26,8	48,06	5,34	18,7	0,1	0,4	27,4	18 957	19 329	26 633
Мешковина	10	84,34	3,46	2,2	55	6,6	31,2	4,62	0,13	2,45	16 049	17 799	18 245
Текстильные изделия	15,31	—	—	—	46,19	6,41	41,85	2,18	0,2	3,17	—	18 692	19 306
Масла, красители	0	—	—	16,3	66,85	9,65	5,2	2	—	16,3	31 168	31 168	37 216
Мусор из пылесоса	5,47	55,68	8,51	30,34	35,69	4,73	20,08	6,26	1,15	32,09	14 854	15 714	23 167
Домашняя грязь	3,2	20,54	6,26	70	20,62	2,57	4	0,5	0,01	72,3	8 536	8 815	31 750

Коммунальные отходы

Грязь от уборки улиц	20	54	6	20	34,7	4,76	35,2	0,14	0,2	25	11 165	13 956	18 608
Минеральные вещества ³	2,6	—	—	—	0,52	0,07	0,36	0,03	0	99,02	—	195	—
Металлы ³	3,11	—	—	—	4,54	0,63	4,28	0,05	0,01	90,49	—	1 726	18 143
Зола	10	2,68	24,12	63,2	28	0,5	0,8	—	0,5	70,2	8 746	9 704	32 564

¹ Остальные 2,42% хлор.

² Остальные 45,41% хлор.

³ Органические составляющие от ярлыков, покрытий и контейнеров.

Таблица 2.31. Содержание хлора в отходах и в угле [62—66]

Проба	Содержание Cl, % по массе (на основе предварительных анализов)
Отходы	
Сент-Луис	0,13; 0,15; 0,32
Атланта, шт. Джорджия	0,5; 0,6; 0,3; 0,3
Округ Де Калб, шт. Джорджия	0,2; 0,4; 0,2; 0,2
73-я печь для сжигания, Нью-Йорк, шт. Нью-Йорк *	0,42; 0,25; 0,13
Другие печи Нью-Йорка, шт. Нью-Йорк *	0,11; 0,33; 0,07
Орландо, шт. Флорида:	
домашнее хозяйство	0,29; 0,23; 0,24
смесь отходов домашнего хозяйства и коммерческих мусор	0,29
коммерческие отходы	0,16
	0,63; 0,26; 0,47
Уголь	
Фирма «Юнион электрик», Сент Луис	0,03; 0,04; 0,05; 0,04; 0,29; 0,29
Разное	От 0,01 до 0,46 (типичный предел для углей США)

Минимум, вычисленный из концентрации HCl в газе из дымоходов.

Селен. Так как большую часть коммунальных отходов составляет бумага, то возможность его выделения при их переработке представляет реальную опасность. Селен является токсичным и, возможно, канцерогенным элементом и обнаруживается в незначительных количествах в побочных продуктах сгорания отходов. Данные о содержании селена во влажных отходах, в отдельных их компонентах и на выходе печей сжигания представлены в табл. 2.32.

Таблица 2.32. Содержание селена в твердых отходах и материалах, связанных с твердыми отходами [67]

Материал	Количество проб	Содержание в отходах, мг/г		Содержание в выбросах из дымовой трубы, кг/т на 1 т отходов
		среднее	пределы	
Газетная бумага	8	8,6	2,3 — 18,3	
Картон	8	2,8	1,6 — 5,1	
Лабораторные фильтры	4	7,1	1,6 — 19,5	
Коммунальные твердые отходы (1) *	2	4,41	4,08 — 4,74	4 · 10 ⁻³
Коммунальные твердые отходы (2) *	4	1,08	0,92 — 1,3	0,98 · 10 ⁻³

Материал	Количество проб	Содержание в отходах, мкг/г		Содержание в выбросах из дымовой трубы, кг/т на 1 т отходов
		среднее	пределы	
Коммунальные твердые отходы (3) **	3	0,49	0,29— 0,59	$4,45 \cdot 10^{-4}$
Синтетические отходы	3	4,5	3,07— 5,9	
Вода от тушения золы печи сжигания (I) ***	1			
Вода охлаждения остатков из печи сжигания (I)	1			
Остатки из печи сжигания (I)	1	0,003		
Водопроводная вода из системы охлаждения (I)	1			
Выброс из дымовой трубы печи сжигания (II) ****:				
на входе в электрофильтр	1	0,7		$1,6 \cdot 10^{-6}$
на выходе из электрофильтра	1	14,5		$1,7 \cdot 10^{-6}$
Выдержанный компост:				
А	3	0,76		
В	3	0,43		

* Дробятся в молотковой мельнице и перемешиваются в двухконусном гомогенизаторе.

** Дробятся в мельнице Уили.

*** Печь с возвратно-поступательной решеткой производительностью в 300 т/сут. работают две печи.

**** В печи установлена коническая горелка с винтовой подачей, сгорает 0,595 т/ч.

Данные анализа отходов, полученных от растений и органических удобрений, представлены в табл. 2.33—2.36.

Таблица 2.33. Состав сельскохозяйственной клетчатки, % по массе [68]

Субстрат	Протеин	Жиры	Свободный азот	Волокно	Лигнин	Зола
Линтер (сырье)	2,45	0,96	4,48	85,7	5	1,27
Линтер (очистки)	3,27	1,69	3,69	90	0,84	0,42
Отжимки сахарной свеклы и тростника:						

Субстрат	Протеин	Жиры	Свободный азот	Волокно	Лигнин	Зола
всего	2,68	1	31,1	52,74	10,63	1,79
сердцевина	2,97	5,23	30,83	47,14	9,28	4,52
волокно	1,74	0,76	32,78	52,39	10,23	2,06
Солома риса	5,05	2,41	36,7	34,39	4,06	17,36
Опилки — ель	0,42	2,89	13,16	74,83	8,45	0,21
Джонсонова трава	6,71	2,87	39,44	37	5,01	8,95
Трава прерий	5,32	2,06	41,84	36,73	7,39	6,63
Мука люцерны	22,11	2,38	39,46	23,88	5,39	6,74
Лузга семян хлопка	5,53	1,51	15,83	50,54	23,31	3,25
Стержни початка кукурузы	2,61	0,87	46,89	37,1	10,44	2,06
Солома овса	7,74	2	35,5	36,94	7,41	10,39
Солома пшеницы	2,71	1,25	35,58	46,08	8,02	6,36
Отжимки сорго	2,73	2,73	41,6	40,54	7,17	4,21

Таблица 2.34. Состав типичных органических удобрений на 1 т навоза, кг [69—71]

Показатель	Крупный рогатый скот		Домашняя птица	Индюки	Свиньи	Овцы	Лошади
	молочный	мясной					
Влага, %	79	80	50—90	74	75	65	60
N	5,08	6,35	6,35	12,25	4,54	12,7	6,26
P ₂ O ₅	0,91	1,81	3,63	6,62	1,27	1,91	0,91
K ₂ O	4,54	4,08	7,26	4,49	3,45	9,07	5,44
SO ₃	0,45	0,77	1,59	—	1,22	0,82	0,64
CaO	2,54	1,09	15,88	—	5,17	5,31	7,12
Fe ₂ O ₃	0,04	0,04	0,04	—	0,25	0,15	0,12
MgO	1	0,91	3,63	—	0,73	1,68	1,27
Летучие твердые вещества	146	179	191	184	181	257	175
Жир	3,1	3,1	—	—	4,1	6,4	2,7

Таблица 2.35. Состав подстилки в курятниках, % по массе [72]

Компоненты отходов	Бройлерная подстилка		Гнездо несушки	
	среднее	предел	среднее	предел
Влага	23,5	27,23—15,37	28,85	41,38—18,47
Протеин	28,74	32,66—24,44	11,95	14,98— 9,38
Жир	2,53	4— 1,75	0,61	1,02— 0,32
Волокно	21,38	28,36—12,75	16,8	22,5 —12,56
Зола	8,25	10,54— 6,53	19,65	27,06—16,61
Свободный азот	17,96	20,9 —15,01	22,12	26,02—16,48
Связанный азот	4,84	7,13— 2,44	1,51	2,81— 1,19
Лигнин	11,76	16,61— 7,41	7,85	12,72— 5,6
Ca	1,33	1,82— 0,87	5,56	8,18— 4,28
P	0,99	1,3 — 0,71	1,09	1,47— 0,91

Таблица 2.36. Состав удобрений из навоза кроликов, % по массе [73]

Проба	Вода	Органическое вещество	Азот	Фосфорная кислота	Поташ
Чистая, с осушенным воздухом (1929)	—	—	1,7	1,3	1,2
Чистая, с осушенным воздухом (1942)	31,4	—	1,4	1,8	0,5
Чистая, с осушенным воздухом (1946)	5,6	91,3	2,4	1,4	0,6
Чистая, с осушенным воздухом (1946)	—	—	2,2	1,4	0,8
Смешанная с отходами, взятыми из навозохранилища (1946)	35,01	40,72	1,8	—	—
Чистая, свободная от влаги (1959)	—	85,6	2,8	0,7	1,1

2.3.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОТНОСТИ

Вероятно, никакое другое свойство твердых отходов не имеет такого значения для инженерных и экономических расчетов, как плотность (насыпная масса). Низкая первоначальная плотность огра-

ничивает возможности транспортировки твердых отходов и тем самым влияет на стоимость их сбора и перевозки. Конечно, в некоторых случаях допустим порожний пробег транспортных средств. Система печей сжигания экономически выигрывает при ограничении объема отходов и (или) уменьшении стоимости их перевозки на большое расстояние.

Насыпная масса. Насыпная масса большинства твердых отходов значительно ниже, чем плотность их компонентов (табл. 2.37). Многие из этих отходов хорошо уплотняются, характеризуясь двух- или трехкратным увеличением объема.

Таблица 2.37. Плотность отходов, кг/м³

Виды отходов	Среднее значение	Значение для рыхлого состояния	Пределы значений	Библиографическая ссылка
<i>Смешанные квартирные отходы</i>				
Требуха, кухонные отходы	371	186	297—445	[69]
Смешанные отходы с требухой		183		[69]
То же, без требухи		137		[69]
Квартирные	144		61—255	[74]
Квартирные в бумажных пакетах	116		77—162	[74]
Влажные квартирные	168		114—255	[74]
Увлажненные квартирные	128		88—213	[74]
Сухие квартирные	122		53—144	[74]
Бункерованные (высота 7,62—10,668 м) влажностью, %:				
10	154			[75]
20	181			[75]
30	225			[75]
40	273			[75]
50	344			[75]
Одноквартирные жилые дома	107			[33]
Многоквартирные жилые дома	107			[33]
Многоквартирный дом	148			[33]
<i>Компоненты отходов квартир</i>				
Трава и обрезки		129		[69]
Металлические консервные банки		95		[69]
Неразбитые бутылки и стекло		415		[69]
Битое стекло		1186		[45]
Ветошь		116		[12]

Виды отходов	Среднее значение	Значение для рыхлого состояния	Пределы значений	Библиографическая ссылка
Бумага и картон		109		[69]
Влажная бумага		164		[12]
Резина		267		[12]
<i>Громоздкие отходы</i>				
Домашние отходы	98			[38]
Обычные отходы	190			[38]
Сбрезки дерева	136			[38]
Кряжи и пни	400			[69]
Стволы деревьев		318		[75]
Сучья и листья		160		[69]
Ветки		32		[69]
Мебель		47		[69]
Приборы и аппараты		178		[69]
Деревянная упаковка		108		[69]
Корпус и различные детали автомобильного аккумулятора	712			[69]
Корпуса автомашин		128		[69]
Деревянные поддоны	211			[38]
Шины и резиновые изделия		237		[69]
<i>Строительство, разборка зданий</i>				
Смешанные отходы разборки несгораемые		1423		[69]
То же, сгораемые		356		[69]
»		255		[38]
Смешанные строительные от- ходы (I)	160			[69]
Смешанные строительные от- ходы (II)	160			[38]
Дорожное покрытие, тротуар		1571		[69]
<i>Коммунальные отходы</i>				
Уличная грязь		1364		[69]
Продукты очистки аллей		148		[76]
Продукты очистки улиц, мусор		251		[38]
Продукты очистки отстойников		1441		[69]

Виды отходов	Среднее значение	Значение для рыхлого состояния	Пределы значений	Библиографическая ссылка
Твердый шлам очистки сточных вод		1038		[69]
Твердые остатки сточных вод		949		[69]
Жировой шлам		949		[69]
<i>Промышленные отходы</i>				
Древесные опилки		288		[45]
Горбыль с корой		400		[45]
Деревянные обрезки		575		[45]
Деревянная стружка		240		[45]
Смешанные металлы		119		[45]
Скрап тяжелых металлов		2402		[69]
Скрап легких металлов		801		[69]
Провод		320		[69]
Грязь, песок, гравий		1441		[69]
Шлак		898		[12]
Летучая зола		1281		[69]
Отходы цементной промышленности		1423		[69]
Другие мелкие частицы		961		[69]
Масла, гудрон, асфальт		961		[69]
Смешанные шламы (влажные)		1186	27	[45]
Химические отходы сухие		640		[69]
То же, влажные		961		[69]
Остатки кожи		178	27	[45]
Оболочки, потроха, рубец, мездра		297		[45]
Текстильные отходы		178		[45]
Резина		297		[45]
Пластмасса		30		
<i>Сельскохозяйственные отходы</i>				
Отходы очистки загонов для скота		646		[69]
Потроха		1026		[69]
Отходы упаковки мяса		1026		[69]
Мертвые животные		356		[69]
Смешанные растительные отходы		356		[45]

Виды отходов	Среднее значение	Значение для рыхлого состояния	Пределы значений	Библиографическая ссылка
Смешанные отходы фруктов		356		[45]
Отходы бобовых или зерновых		771		[69]
Отходы обработки томатов		670		[69]
Мякина		59		[45]
Смешанные сельскохозяйственные отходы		563		[69]

Компактность. С увеличением объема твердых отходов и уменьшением вместимости мест для их приема многие муниципальные и региональные агентства вынуждены создавать станции передачи для отправки по железной дороге отходов к отдаленным зонам расположения. Большое внимание уделяется пакетированию для перегрузки в места захоронения на большие расстояния. Тот или иной вид транспортировки требует уплотнения отходов обычно с помощью гидравлического оборудования. Вопросы уплотнения были предметом специальных исследований [74]. Далее описаны результаты некоторых испытаний, полученные на модифицированном прессе для упаковки в кипы металлического скрапа (рис. 2.2). Эксперименты выполнялись на сырых, измельченных и синтетических коммунальных отходах и громоздких отходах увеличенных размеров. В небольшом количестве испытаний были использованы водорастворимые клеящие вещества, предназначенные для улучшения связующих свойств отходов.

Хотя компактность часто характеризуется степенью уменьшения объема по сравнению с первоначальным, необходимо иметь точные данные о плотности отходов, так как эта величина может меняться в широком диапазоне в зависимости от предварительной обработки отходов и погрузочных операций. Например, при давлении

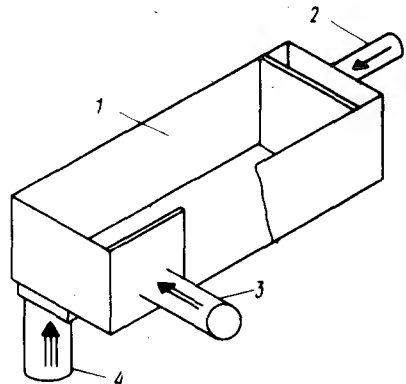


Рис. 2.2. Пресс для уплотнения отходов 74
1 — приемный бункер; 2 — собирающий штамп 1; 3 — промежуточный штамп 2; 4 — штамп высокого давления 3

нии 24,6 МПа объем колеблется от соотношений 7 : 1 до 23 : 1 (разница в 3 раза). При том же давлении можно получить плотность от 1490 до 1730 кг/м³ (колебание 15%). Эти данные необходимы при выборе и покупке оборудования прессования.

Предельная плотность. Предельная плотность домашних отходов, подвергающихся уплотнению при различном давлении, представлена в табл. 2.38.

Таблица 2.38. Плотность брикетов домашних отходов в зависимости от исходной плотности и давления прессования [74]

Число проб	Средняя плотность рыхлых отходов, кг/м ³	Плотность брикетов, кг/м ³			Давление прессования, кПа
		средняя	максимальная	минимальная	
31 29	107,32 172,99	1489,71 1489,71	1729,99 1633,88	1249,44 1249,44	20 400—23 800
14 28	110,52 172,99	1441,66 1441,66	1665,91 1649,89	1313,51 1315,55	12 580—17 000
3 5	108,93 167,79	1313,51 1377,58	1441,66 1377,58	1233,42 1329,53	9180—10 200
8 13	121,74 160,18	1185,36 1185,36	1521,75 1233,42	1121,29 1057,21	4420—6800

Так как плотность различных бумаг находится в пределах от 688,8 кг до 1137 кг/м³, то становится ясно, что компоненты отходов с высокой плотностью (стекло, металлы, грязь) вносят большой «вклад» в плотность брикетов. Предварительная упаковка отходов в бумажные мешки дает почти одинаковые результаты с результатами для неупакованных отходов.

Предполагаемое увеличение плотности брикетов с влажными отходами не достигалось из-за отжатия влаги во время уплотнения. Были зарегистрированы потери массы до 37% для отходов, подвергавшихся воздействию дождя. Отходы с небольшой влажностью теряли только до 1—3% первоначальной массы, для сухих отходов потери массы не зафиксированы.

Отжимаемая жидкость была зеленоватой на вид, остаток был серым. Химический анализ жидкости и остатка характеризуется данными табл. 2.39.

Данные микробиологических исследований показали, что никаких необычных загрязнений в отжимаемой из отходов жидкости не обнаружено.

Уплотненные отходы после снятия давления стремятся восстановить свой объем. Данные, иллюстрирующие уменьшение плотности брикета, представлены в табл. 2.40 и на рис. 2.3. Восстановление объема брикета является следствием примененного давления: в наибольшей степени оно происходит в направлении движе-

Таблица 2.39. Химический анализ продуктов, выделяемых при уплотнении [74]

Остаток	Проба 1	Проба 2
<i>Твердый остаток, % по массе</i>		
Органическое вещество	38,9	76,7
SiO ₂	30,8	6,9
Al ₂ O ₃	15,2	5,8
P ₂ O ₅	8,9	4,4
CaO	2	1,3
MgO	1,4	0
Fe ₂ O ₃	0,5	0,6
SO ₃	Следы	Следы
CO ₂	0	0
<i>Жидкость</i>		
pH	7,8	4,5
Общее количество растворенных твердых веществ, млн ⁻¹	6090	6040
Органические вещества	1720	4480
Бикарбонаты	90	610
Сульфаты	250	200
Хлориды	21	218
Тяжелые металлы (суспензия)	В большом количестве	В небольшом количестве

ния поршня 3, в наименьшей — в направлении движения поршня 1 (см. рис. 2.2.). Хотя восстановление объема продолжается на протяжении нескольких часов после снятия давления, для оценок используют данные, полученные в первые две минуты.

Отмечается, что брикеты спрессованные при давлении приблизительно 6,8 кПа в течение 5 мин, оказались такими же стабильными, как те, которые были уплотнены при 10,2—11,9 кПа без выдержки. Аналогично 5-минутная выдержка при давлении 10,2 кПа позволила получить брикеты, подобные тем, которые уплотнялись очень короткое время при давлении 13,6 кПа.

Считалось, что клеящие вещества, которые эффективны для сцепления бумажных материалов, ограничивают степень восста-

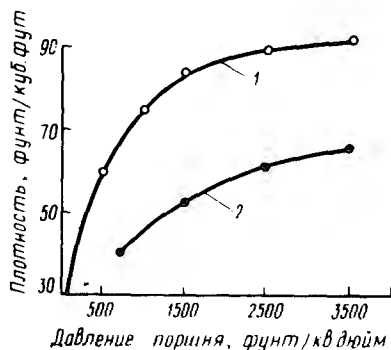


Рис. 2.3. Средние плотности домашних отходов до 1 и после 2 уплотнения

новления объема брикета после сжатия. Распыление некоторых клеящих веществ (включая полисахарид-, протеин- и целлюлозное основание составов, растворимых в воде, и составов на основе углеводов, растворенных в спиртах) не улучшало свойств брикетов, а лишь несколько ограничивало краткосрочное пружинящее восстановление объема. Например, при давлении прессования 23 120 кПа обработанные брикеты восстанавливали свой объем несколько медленнее (на 8%), чем необработанные (табл. 2.41). Правда, при распылении клеящих веществ улучшались внешний вид и стабильность брикетов, уменьшалась деформация.

Некоторое повышение стабильности брикетов отходов было отмечено при обмазке клеящими веществами внешней поверхности пластмассовых мешков. Однако опыты показали, что использование клеящих веществ на практике не оправдано.

В серии опытов был проверен эффект измельчения отходов перед уплотнением. Как следует из табл. 2.42, показатели предельной плотности брикетов до уплотнения и после него не улучшились.

Чтобы получить сведения, есть ли опасность образования газа в уплотненных отходах, исследовали пробы газа из шести брикетов, хранившихся при температуре $29 \pm 3^\circ\text{C}$. Два брикета завернули в пластик немедленно после высвобождения из пресса. Через 1 сут они были теплыми на ощупь и на пластмассовом покрытии виднелись капли влаги. Незавернутые брикеты оставались холодными и сухими. По истечении 3 сут обернули остальные четыре брикета. Данные о составе газа приведены в табл. 2.43. Хотя предполагается, что газ образуется в результате деятельности аэробных бактерий, небольшое количество экспериментов не позволяет четко выявить его состав.

Влияние влаги на уплотнение и восстановление объема после уплотнения определялось в нескольких сериях испытаний на смешанной бумаге и газетах при регулируемом содержании влаги

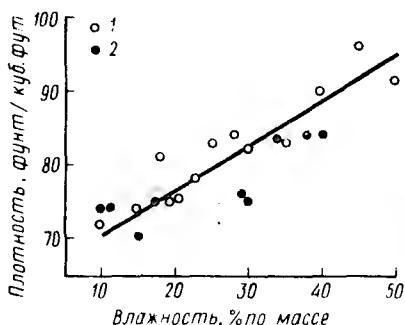


Рис. 2.4. Зависимость плотности от содержания влаги 74
1 — бумажная макулатура; 2 — газеты

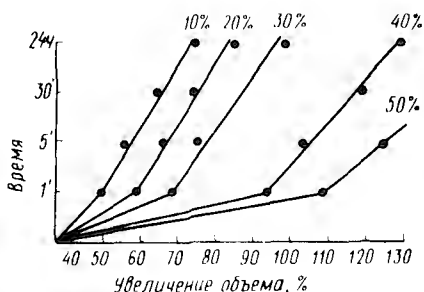


Рис. 2.5. Увеличение объема брикетов с уплотненной бумагой, содержащих воду, добавленную в количестве от 10 до 50% по массе

Т а б л и ц а 2.40. Увеличение объема брикета после снятия давления

Число проб	Средняя плотность рыхлых отходов, кг/м ³	Плотность спрессованных брикетов, кг/м ³			Средняя плотность брикетов после 1—2-мин выдержки, кг/м ³	Давление прессования, кПа
		средняя	максимальная	минимальная		
31	107,32	1489,71	1729,98	1249,44	977,12	20 400—23 800
29	172,99	1489,71	1633,88	1249,44	1049,21	
14	110,53	1441,66	1665,91	1313,51	937,08	
28	172,99	1441,66	1649,89	1345,55	961,1	12 580—17 000
3	108,93	1313,51	1377,58	1233,42	800,92	
5	169,8	1377,58	1521,75	1329,53	864,99	
8	121,74	1185,36	1233,42	1121,29	792,91	5780—6800
13	160,18	1185,36	1441,66	1057,21	768,88	

Таблица 2.41. Первоначальная и окончательная плотность брикетов с добавлением клеящего вещества и без него [74]

А. Бумажные мешки без клеящих веществ					
Среднее уменьшение объема		Среднее увеличение объема, %	Плотность брикетов, кг/м ³		Давление прессования, кПа
во время уплотнения	после 1—2-мин восстановления объема		во время уплотнения	после 1—2-мин восстановления объема	
13 : 1	9 : 1	47	1505,73	1025,18	22 440—23 800
11 : 1	8 : 1	38	1361,56	1009,16	12 5580—13 600

Б. Бумажные мешки с клеящими добавками

Число проб	Плотность рыхлых отходов, кг/м ³	Плотность брикетов, кг/м ³		Среднее уменьшение объема		Максимальное давление прессования, кПа
		во время уплотнения	после 1—2-мин выдержки	во время уплотнения	после 1—2-мин выдержки	
5	104,12	1377,58	1057,21	14 : 1	10 : 1	22 440—23 800
3	107,72	1281,47	864,99	12 : 1	8 : 1	12 580—13 600

Таблица 2.42. Увеличение объема уплотненных измельченных отходов со временем [74]

№ пробы	Время, мин	Увеличение объема, %	Давление прессования, кПа
1	1	44	23 120
	5	49	
	30	58	
	1440	71	
2	1	60	12 580
	5	69	
	30	82	
	1440	95	

Таблица 2.43. Анализ газа и температура брикетированных бытовых отходов [74]

Типы брикетов	Продолжительность отбора пробы, сут	Содержание газа, %			Температура брикета, °С	
		CO ₂	O ₂	CO	внутри	на поверхности
Бытовые рыхлые (23,8 кПа)	4,5	7	13,1	0,009	40,5	35
	8	2,9	17,5	Следы	38,9	33,9
Бытовые рыхлые (13,6 кПа)	4,5	6,4	14,2	0,011	53,9	51,7
Упакованные в бумажные мешки (23,8 кПа)	4,5	4,2 **	16,2	0,013	47,8	45
	8	4,5	15,6	Следы	37,78	43,3
Упакованные в бумажные мешки (13,6 кПа)	4,5	—	—	—	46,1	39,4
	8	6,9	13,2	Следы	46,1	39,4
Укрытые пластмассой (23,8 кПа)	4,5	3,5	17,3	0,019	41,1	36,7
	8	3,7	16,7	Следы	41,1	32,2
Укрытые пластмассой (13,6 кПа)	4,5	7,6	12,4	0,013	36,1	33,9
	8	4,7	15,5	Следы	33,3	31,7

* Время после изготовления брикета.

** Среднее значение для двух образцов, упакованных в бумажные мешки.

(рис. 2.4). Опыты показали что добавление воды увеличивает плотность, что, возможно, связано со свойствами бумаги.

О степени восстановления объема брикетов после извлечения из пресса в зависимости от времени выдержки и содержания влаги в твердых отходах можно судить по данным рис. 2.5. Из сравнения рис. 2.5 и 2.4 видно, что брикеты со значительным содержанием влаги достигают высокой исходной плотности, но они также расширяются в большей степени, чем брикеты с низким содержанием влаги. При содержании влаги сверх 40% по массе брикеты после снятия давления немедленно распадались.

Степень уплотнения отдельных компонентов отходов проверялась на различных однородных или смешанных компонентах отходов при давлении уплотнения 23,8 кПа [74].

1. Резиновые шины. Несколько образцов резиновых шин были подвергнуты уплотнению. Однако эффекта уплотнения достигнуть не удалось. После снятия давления шины обычно разделяются.

2. Резиновые шины в проволочной сетке. Уплотненные бухты шин, завернутые в проволочную сетку, всегда быстро увеличиваются в объеме. Проволочная сетка, в зависимости от ее прочности, обычно разрывается в одном или нескольких местах сварки.

3. Измельченная резина и домашние отходы. Из домашних отходов, содержащих около 25% резины, получались хорошие брикеты. Измельченную резину без отходов уплотнить не удалось.

4. Металлические консервные банки и металлические отходы увеличенных размеров. Все металлические твердые отходы, включая холодильники, стиральные машины, печи и другие устройства, образуют прекрасные брикеты.

5. Отходы увеличенных размеров и бытовые отходы. Такая смесь образует очень хорошие брикеты.

6. Лом пластмассы. Уплотненная смесь пластмасс после снятия давления распадается.

7. Очень сухая бумага. Такая бумага не образует стабильных брикетов.

8. Овощи, фрукты, обрезки мяса. Эти отходы нельзя уплотнить ни в отдельности, ни вместе.

9. Овощи, фрукты и домашние отходы. В этом случае при уплотнении домашних отходов отмечалось образование заметного количества пищевой пульпы, которая частично выходила через отверстия в прессе при давлении в 6,12 кПа. Пульпа, которая прилипала к наружной части уплотненного брикета, отпадала после снятия давления.

10. Приготовленное мясо и домашние отходы. Результаты, подобные предыдущему случаю, были получены с овощами, фруктами и мясом, содержащим большое количество влаги.

11. Овощи и древесная стружка. Смесь овощей с древесными стружками образует нестабильные брикеты.

12. Древесная стружка. Древесная стружка в отдельности хорошо брикетируется.

13. Древесная стружка и домашние отходы. Смесь домашних отходов и древесной стружки образует стабильные брикеты.

2.3.3. СГОРАНИЕ

Процессы сгорания (сжигание мусора, сжигание с регенерацией тепла, сжигание отходов вместе с топливом в коммунальных бойлерах и пиролиз) имеют большое значение для жизнедеятельности города. Хотя оборудование и процессы сгорания, в основном, рассмотрены в гл. 6, здесь приведены некоторые отдельные аспекты процесса сжигания. Особый раздел посвящен переработке шлаков и золы от печей для сжигания мусора.

Теплосодержание. Основными параметрами процесса сгорания являются теплосодержание и теплотворная способность. Наивысшая теплотворная способность — это тепло, высвобожденное при полном сгорании материала. Тепло конденсации паров воды, образующееся при сгорании, включено в значение теплотворной способности. Данные о наивысшей теплотворной способности некоторых компонентов отходов представлены в табл. 2.44 (см. также табл. 2.29).

Таблица 2.44. Наивысшая теплотворная способность компонентов отходов [58, 77, 78]

Виды отходов	Содержание золы, % по сухому остатку	Наивысшая теплотвор- ная способность, кДж/кг	
		сухой остаток	сухой, свободный от золы остаток
<i>Бумага и бумажные изделия</i>			
Книги и журналы	24,05		17 578
Картон			19 476
Смесь бумаги I	6,55		18 789
Смесь бумаги II	4,02		17 931
Вощеная бумага			25 586
Вощеный картон			27 912
<i>Пища и пищевые отходы</i>			
Мусор с пищевыми отходами (Калифорния)	6,53		16 933
Кухонные жиры			3 7681
Сахар (тростниковый)	0	16 508	1 6508
Крахмал	0	17 496	1 7496
Кофейная гуща		23 395	
Кочерыжка кукурузного початка		18 841	

Виды отходов	Содержание зола, % по сухому остатку	Наивысшая теплотвор- ная способность, кДж/кг	
		сухой остаток	сухой, свободный от золы остаток
Кожура арахиса		24 263	
Овес		18 603	
Пшеница		17 519	
Касторовое масло	0	37 099	37 099
Хлопковое масло	0	39 356	39 356
<i>Деревья, древесина, ветви, растения</i>			
Ветки (Калифорния)	8,87		19 813
Древесная стружка	0,77		20 061
Зелень (Калифорния)	10,57		18 406
Лигнин			24 493
Древесина (Калифорния)	1,13		19 585
Смола, деготь		35 192	
Древесина (Вашингтон)	1,65		20 620
Древесные опилки (сосна)		22 506	
Древесные опилки (ель)		19 187	
Древесина бука (13% H_2O)		15 224	
Древесина березы (11,8% H_2O)			
Древесина дуба (13,3% H_2O)		14 491	
Древесина сосны (12,2% H_2O)		16 282	
<i>Домашние отходы</i>			
Линолеум	27,4		26 533
Ветошь:			
лен		16 589	
хлопок			16 747
шелк		19 517	
шерсть			20 701
смесь			17 538
ацетилцеллюлоза			18 608
нейлон			30 680
вискоза			17 422
Резина	48		29 773
Шеллак			31 587
Асфальт			39 914

Виды отходов	Содержание золы, % по сухому остатку	Наивысшая теплотвор- ная способность, кДж/кг	
		сухой остаток	сухой, свободный от золы остаток
<i>Пластмассы</i>			
Фенолформальдегид			26 028
Полиэтилен			46 404
Полипропилен			44 404
Полистирол			41 473
Полиуретановая пена			23 865
Сополимер стиролбутадиена			41 170
Сополимер ацетата с винилхло- ридом			20 539
<i>Металлы</i>			
Al ₂ O ₃			31 052
CuO			2 524
FeO _{0,947}			5 024
Fe ₃ O ₄			6 676
Fe ₂ O ₃			7 350
PbO			1 047
MgO			24 749
SnO ₂			4 896
ZnO			5 338

Для определения тепла сгорания (по сухому остатку) по результатам анализа отходов была разработана корреляционная зависимость, основанная на термохимических принципах [79]. Она пренебрегает окислением металлов, но результирующая погрешность должна быть небольшой для обычных печей сжигания мусора. Для корреляции необходимо знать соотношение в пробе сухих отходов (фунт к фунту) органического и неорганического (карбоната) углерода, а также кислорода, серы, азота и водорода (обозначаются $C_{орг}$, $C_{неорг}$, O , S , N и H соответственно).

Уравнение имеет следующий вид (британские единицы тепла):

$$Q = 14\,096\, C_{орг} + 55\,750\, (H - \frac{O}{8}) + 3982\, S - 6382\, C_{неорг} + 4274\, x$$

$$x \left(\frac{O}{2} \right) + 1040\, N.$$

С использованием этой формулы определены состав и теплотворная способность отходов (табл. 2.45).

Потребность в воздухе. Стехиометрическая потребность в воздухе — важная переменная величина, необходимая для тепловых расчетов. Потребности в воздухе можно легко вычислить из элементарного анализа, принимая в расчет содержание в отходах кислорода. Предполагаемая степень окисления металлов — до 10%. Для упрощения расчета можно принять, что весь металл отходов представляет собой железо. Расчет стехиометрических потребностей в воздухе представлен в табл. 2.46. В качестве альтернативы можно отметить, что для многих видов топлива потребности в воздухе на миллион тепловых британских единиц являются приблизительно постоянными. Для городских отходов приемлемая потребность в воздухе составляет примерно 328 кг на 1 млн. кДж (наивысшая теплотворная способность). Для промышленных отходов целесообразно вычислить потребность в воздухе из элементарного анализа.

Остатки от сгорания городских отходов. В процессе сжигания образуются четыре твердых остатка: зола, пыль, шлак на решетке и летучая зола. Каждый из этих остатков является твердым отходом сам по себе и требует места на свалках мусора.

Зола. При работе городских печей для сжигания мусора, в которых установлена решетка, часть отходов и остатки на решетке падают вниз через отверстия. Этот материал, известный как зола, был испытан на четырехсекционной качающейся колосниковой решетке Флинна и Эмриха [14].

Пыль. При работе печи для сжигания мусора образуется большое количество пыли. Характеристика теплосодержания необходима вследствие того, что пыль взрывоопасна. С помощью методики, разработанной Горнорудным управлением [81], был определен индекс взрывоопасности пыли печи для сжигания мусора (табл. 2.47). Исследования показали, что пыль печей сжигания не очень восприимчива к инициированию и распространению взрыва.

Шлак на решетке. Материал, выгружаемый с решетки городской печи для сжигания мусора, содержит около 25—30% по массе, но только 5—15% по объему поступающих отходов. Эти остатки обычно подвергаются захоронению, хотя проявляется всевозрастающий интерес к выделению из них черных и цветных металлов, а также стекла [82].

Данные, характеризующие шлак от печей для сжигания мусора с непрерывной подачей материала и качающимися колосниковыми решетками и от печей прямоугольной формы с порционной подачей, приведены в табл. 2.48 и 2.49 соответственно. Анализ, полученный Горнорудным управлением при испытаниях остатков пяти заводов с порционной подачей, был сопоставлен с данными табл. 2.48 и 2.49 (табл. 2.50). Данные Агентства охраны окружающей среды для семи разнотипных печей приведены в табл. 2.51 и 2.52.

Таблица 2.45. Состав и теплотворная способность сжигаемых труб мусора [79]

Типы пробы	Содержание, %						Теплотворная способность, кДж/кг		
	C _{орг}	C _{неорг}	H	O _{орг}	N	S	экспериментальные значения	разброс	расчетные значения
Необработанные отходы	45,68	0,25	6,28	35,34	0,54	0,24	19 597	116	19 531
То же	46,76	0,42	6,23	39,82	0,44	0,22	19 390	254	19 162
»	46,51	0,65	6,38	37,92	0,6	0,14	19 636	107	19 531
»	46,25	0,5	6,35	38,05	0,67	0,1	19 485	116	19 399
»	45,85	0,83	6,61	35,94	1,03	0,1	20 252	49	20 248
»	43,55	0,72	6,25	33,87	0,75	0,2	19 055	458	18 931
»	45,74	0,59	6,02	35,54	0,75	0,2	19 071	133	19 089
Остатки (пепел)	6,87	0,15	0,17	0	0,12	0,21	2 773	330	2 510
То же	3,65	0,07	0,08	0	0,04	0,12	1 417	98	1 319
»	1,4	0,65	0,18	0	0,15	0,2	526	172	656
»	0,72	0,42	0,1	0	0,15	0,2	388	221	346
»	7,22	0,7	0,42	2,94	0,15	0,2	2 254	391	2 507
Остатки (органические)	15,81	0,64	2,24	11,04	0,75	0,2	7 894	1349	6 969
То же	11,23	1,24	1,48	8,61	0,75	0,2	4 945	449	4 564
»	33,67	0,5	3,93	20,55	0,75	0,2	13 816	247	14 070
»	50,45	0,14	4,68	27,88	0,75	0,2	19 862	47	19 748

Типы пробы	Содержание, %						Теплотворная способность, кДж/кг		
	C _{орг}	C _{неорг}	H	O _{орг}	N	S	экспериментальные значения	разброс	расчетные значения
Летучая зола	3,48	0,94	0,13	0	0,15	0,2	1 314	174	1 219
То же	2,15	1,31	0,17	0	0,15	0,2	647	133	786
»	2,04	0,96	0,09	0,79	0,15	0,2	779	198	588
»	3,36	0,15	0,22	0,25	0,15	0,2	1 123	335	1 400
»	1,04	0,35	0,16	0,23	0,15	0,2	437	195	519

¹ Каждая величина представляет собой среднее значение, по меньшей мере, из двух отдельных анализов. Все 22 пробы получены от 5 печей сжигания мусора, расположенных в различных районах США.

² Пепел или несгораемые остатки — материалы, отсеянные после сортировки большинства легкосгораемых веществ. Сортировка выполнялась в месте расположения печи сжигания мусора, и для выполнения этой операции применялось сито с ячейками 12,7 мм.

³ Органические или сгораемые остатки — в основном легкосгораемые материалы. В отличие от пепла эти материалы легко собираются на сите с диаметром ячеек 12,7 мм.

Таблица 2.46. Стехиометрические потребности в воздухе на основе элементарного анализа [см. табл. 2.28]

Компоненты	Содержание в 100 кг отходов, кг	Молекулярная масса	Содержание, моли	Потребность в O_2 , моли
Влага	28,16	18	1,564	0
Углерод	25,62	12	2,135	2,135
Водород (связанный)	2,65	2	1,326	1,326
Кислород (связанный)	21,21	32	1,326	1,326
Водород	0,8	2	0,399	0,199
Сера	0,1	32	0,003	0,003
Азот	0,64	28	0,023	0
Металл (железо)	8,7	55,8	0,156	0,01 *
Зола	12,12	—	—	0
Итого	100	—	—	2,347

Потребность в кислороде = 2,35 молей.

Потребность в азоте = $\frac{8,83}{11,18}$ молей воздуха = 322 кг на 100 кг отходов.

* Принято 10%-ное окисление до Fe_3O_4 .

Таблица 2.47. Теплосодержание и индекс взрывоопасности пыли печей для сжигания мусора [80]

Источник пыли	Теплосодержание, кал/г сухого вещества	Взрывная концентрация, мг/л	Индекс взрывоопасности относительно угля
Воздух	3390	—	—
Загрузочная площадка	2770	—	0,33
Стенки	2030	—	<0,22
Платформа у приемка	2280	—	<0,25
Рельсы у приемка	2614	—	<0,28
Отходы с земли	3430	70	0,8
Питтсбургский уголь	6667	55	1

Таблица 2.48. Данные анализа остатков из печей сжигания мусора с непрерывной подачей материала [14]

Компоненты отходов	Удельная плотность, кг/м ³ (по сухому остатку)	Количество сухого остатка ¹		Потери при сжигании	
		кг	%	%	кг
Черный металл:		428,177	15,75	0	0
луженые консервные банки	122,75	375,688	13,82		
другие изделия		52,49	1,93		
Чешуйки Fe ₃ O ₄		103,11	3,8	0	0
Цветной металл		8,183	0,3	0	0
Стекло размером более 6,35 мм		257,51	9,48	0	0
Керамика, камни		41,063	1,51	0	0
Клинкер размером:					
более 76,2 мм	5961,43	221,24	8,15	0	0
6,35×76,2 мм	1059,69	433,86	15,96	0	0
Зола немагнитная:					
25 меш	1129,07	169,29	6,23	10,67	46,656
10 меш		267,98	9,87		
Сгораемые вещества:					
бумага, дерево, уголь	166,04	48,729	1,79	84,04	40,955
органические вещества, поддающиеся разложению в анаэробных условиях (визуально)		1,864	0,07	55,63	1,038
кости, глина		0,825	0,03	43,38	0,358
Остаток из питающей воды		735,227	27,06	34,42	253,24
Итого		2717,016	100		342,248
Вымываемая соль		12,02			
Чистый остаток		3157,719 кг			
Свободный от горючих веществ остаток		2362,761 кг			

¹ Было сожжено 6803,9 кг отходов.

Т а б л и ц а 2.49. Данные анализа остатков из печей для сжигания мусора с порционной подачей материала [14]

Компоненты отходов	Содержание, % по массе (по сухому остатку)
Металл черный (>6,35 мм)	13,75
Магнетит (>6,35 мм)	3,03
Магнетит (<6,35 мм)	5,97
Цветной металл (>6,35 мм)	0,83
Стекло (>6,35 мм)	36,63
Керамика (>6,35 мм)	4,73
Клинкер (>76,2 мм)	6,75
Клинкер (6,35×76,2 мм)	10,48
Немагнитный материал (<6,35 мм)	16
В том числе:	
органические вещества	1,92
инертные вещества	14,08
Сгораемые материалы (>6,35 мм)	1,83
В том числе бумага	0,59 *
Итого	100 **

* Содержание золы не определено.

** Общая плотность остатков составляла 616,648 кг/м³.

В связи с тенденцией к восстановлению побочных продуктов заводов по сжиганию мусора был выполнен анализ остатков черных металлов (табл. 2.53). Высокое содержание меди в исследуемых стальных сплавах (намного более высокое, чем ожидалось) было доказано. Последовательность протекающих реакций такова: 1) поливинилхлорид сгорает, образуя соляную кислоту; 2) соляная кислота разъедает медь, образуя хлорид; 3) хлорид меди растворяется в воде, применяемой для охлаждения; 4) медь осаждается на железе.

Образование клинкерных фракций в горящих отходах, а также шлаковых и сплавленных осадков внутри печи вызвало большой интерес к свойствам этих материалов (см. табл. 6.12).

Таблица 2.50. Сравнение состава остатков ¹ [14, 83]

Компоненты отходов	Подача материала		
	непрерывная	порционная	порционная ²
Металлы и частички металла из мельницы	19,85	23,58	29,5
Стекло	9,48	36,63	44,1
Керамика, камни	1,51	4,73	2
Клинкер	24,11	17,23	—
Зола	16,1	14,08	15,4
Органические вещества	1,89	<3,75	9
Остаток твердых веществ из питающей воды	27,06	0	—
Итого	100	100	100

¹ Состав остатков дан в % по массе.² Данные Горнорудного управления (США) для пяти заводов (Вашингтон, округ Колумбия).

Таблица 2.51. Состав остатка, % по массе [34]

Компоненты отходов	№ печи для сжигания мусора						
	1*	2	3*	4	5	6	7
Зола	44,9	52,5	38,9	36,4	74,5	79,4	52,6
Несгоревшие сгораемые вещества	Анализи- ровались сов- местно с золой		1,3	35,8	0,1	0,7	1,1
Металл	23,9	14,6	13	14,5	21,4	16,8	20
Стекло, камень	31,2	32,9	46,8	13,3	4	3,1	26,3

* Сухие пробы.

Таблица 2.52. Данные анализа остатков [84]

№ печи	Влажность, %	Теплосодержание, кДж/кг	Содержание золы, %	Содержание летучих веществ, %	Плотность пробы, кг/м ³
1	15 (суммарная)	395	97,4	2,6	Не измерялась То же
2	24,5	465	98,4	2	»
3	0,3	419	98	2	883,6
5	21,8	1210	97	3	960,7
6	24,8	2186	92,7	7,3	960,7
7	10,5	163	99,4	0,6	948,8

Примечания: 1. Анализ по сухому остатку.
2. Для печи № 4 определений не проводилось.

Таблица 2.53. Данные анализа следов металлов в остатках из печи для сжигания мусора, % по массе [85]

Компоненты отходов	Sn	Cu	Ni	Mn	Si
Консервные банки	0,1 — 0,4	0,2 — 0,5	0,02 — 0,06	0,02 — 0,2	< 0,01 — 0,2
Крупные изделия	0,02 — 0,1	0,5 — 1,4	0,1 — 0,6	0,06 — 0,3	0,04 — 0,3
Стальная проволока	0,05 — 0,06	0,9 — 1	0,05 — 0,2	0,08 — 0,1	0,05 — 0,2

Примечание. Анализ по сухому остатку.

Таблица 2.54. Состав неорганических компонентов летучей золы, % по массе [7]

Компоненты	Расчетные значения для типичных отходов	Фактические значения		Среднее для 25 проб шлаков
		печь № 1	печь № 2	
SiO ₂	53	46,4	55,1	44,73
Al ₂ O ₃	6,2	28,2	20,5	17,44
Fe ₂ O ₃	2,6	7,1	6	9,26
CaO	14,8	10,6	7,8	10,52

Компоненты	Расчетные значения для типичных отходов	Фактические значения		Среднее для 25 проб шлаков
		печь № 1	печь № 2	
MgO	9,3	2,9	1,9	2,1
Na ₂ O	4,3	3	7	8,14
K ₂ O	3,5	2,3	—	—
TiO ₂	4,2	3,1	—	—
SO ₃	0,1	2,7	2,3	3,69
P ₂ O ₅	1,5	—	—	1,52
O	0,4	—	—	1,54
BaO	0,1	—	—	—

Летучая зола. Летучая зола — материал, который накапливается как шлак на стенках и в дымоходах печей для сжигания мусора, и именно с ней связаны наиболее значительные проблемы контроля за загрязнением воздушной среды. Данные табл. 2.54 указывают на большое сходство между составами нелетучей золы, шлаков печей для сжигания мусора и летучей золы. Поэтому данные табл. 2.52 будут полезны для оценки максимальной температуры поверхности стенок, что даст возможность избежать накоплений на этих стенках летучей золы.

Важное значение для проблемы загрязнения воздуха летучей золой имеет распределение этого материала по размеру частиц (см. рис. 6.9 и табл. 2.55). Промежуточной кривой 1 (по данным США) можно руководствоваться для разработки системы контроля за воздушной средой [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ulmer N. S. «Physical and Chemical Parameters and Methods for Solid Waste Characterization», Open File Progress Report, RS-03-68-17, July 1967-July 1969, Office of Solid Waste Management Programs (1970).
2. Daniels, L. E. «A report on the Dekalb County Incinerator Study», Report SW-31 ts, USDHEW, PHS, BSWM (1970).
3. Hahn J. L. «Study of the Delaware County No. 3 Incinerator in Broomall, Pennsylvania», Report TO 3.1.010/0, USDHEW, PHS, BSWM (1970).
4. Hahn J. L. «A study of the New Orleans East Incinerator», Report TSR/01.38/9, USDHEW, PHS, BSWM (1970).
5. Achinger W. C. «Study Report on a Pilot Plant Conical Incinerator», Report SW-14 ts, USDHEW, PHS, BSWM (1970).
6. Daniels L. E. «A Report on the Hartsfield Incinerator Study», Report SW-30 ts, USDHEW, PHS, BSWM (1970).
7. Niessen W. R. et al., «Systems Study of Air Pollution From Municipal Incineration», Report to NAPCA under Contract CPA 22-69-23 by Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass. (1970).

8. Kaiser E. R. and Carotti A. A. «Municipal Incineration of Refuse with 2% and 4% Additions of Four Plastics», Report to the Society of the Plastics Industry (1971).
9. Golueke C. G. and McGahey P. H. «Comprehensive Studies of Solid Waste Management», First and Second Annual Report-Research Grant No. EC-00260, USDHEW, PHS, BSWM (1970).
10. Proceedings of Mecar Symposium-Incineration of Solid Wastes (Mar. 1967).
11. «Master Plan for Solid Waste Collection and Disposal, Tri-Parish Metropolitan Area of New Orleans», Albert Switzer and Associates, Inc., USDHEW, BSWM (1969).
12. Ingram W. T. and Francia F. P. «Quad City Solid Wastes Project — Interim Report», paper prepared for U.S. Dept. of Health, Education, and Welfare by Quad City Solid Wastes Committee Staff (1968).
13. Kaiser E. «Chemical Analysis of Refuse Components», Proceedings of 1968 National Incinerator Conference, ASME, New York, N. Y. (1968).
14. Kaiser E., Zlit C. D. and McCoffery J. B. «Municipal Incinerator Refuse and Residues», Proceedings of 1968 National Incinerator Conference, ASME, New York, N. Y. (1968).
15. Kaiser E. Proceedings of the 2nd Annual Meeting of the Institute for Solid Wastes, APWA, Boston, Mass. (Oct. 1967) p. 37.
16. DeMarco J. Private Communication, U. S. Dept. of Health, Education, and Welfare, Bureau of Solid Waste Management.
17. «Solid Wastes Study of a Residential Area», U. S. Public Health Service, Solid Wastes Program, Cincinnati, Ohio (Oct. 1966).
18. «Baling Municipal Refuse», City of San Diego, California, USPHS Grant No. 1-D01-UI-00061-01 (1967).
19. «The Solid Wastes Disposal Study», Genesee County, Brief History of Study, U. S. Dept. of Health, Education, and Welfare (1968).
20. «The Solid Waste Disposal Study», Genesee County, Michigan, U. S. Dept. of Health, Education, and Welfare (1968).
21. «Systems Analysis for Solid Waste Disposal by Incineration», FMC Corporation, San Jose, Calif., 1968.
22. Purdom P. W. «Characteristics of Incinerator Residue», Proceedings of The 1st Annual Meeting of the Institute for Solid Wastes, APWA, Chicago, Ill. (Sept. 1966).
23. «Solid Wastes Study and Planning Grant, Jefferson County, Kentucky», U. S. Dept. of Health, Education, and Welfare (1967).
24. Hickman H. L., Jr., «The Physical and Chemical Characteristics of Municipal Solid Wastes», U. S. Dept. of Health, Education, and Welfare (1968).
25. «Kalamazoo County Road Commission, Solid Wastes Study, U. S. Dept. of Health, and Welfare (1968).
26. Commissioner of Streets and Sanitation, Ontario, Canada, Private Communication.
27. Niessen W. R. and Alsbrook A. F. «Municipal and Industrial Refuse: Composition and Rates», Proc ASME Incinerator Conference (1972) p. 319.
28. Niessen W. R. and Chansky S. H. «The Nature of Refuse», Proc ASME Incinerator Conference (1970) p. 1.
29. Anon., «World Survey Finds Less Organic Matter», Refuse Removal Journal, 10 (26) (Sept. 1967).
30. Miller E. H. «Conversion of Organic Solid Wastes into Yeast; an economic evaluation» PHS pub. 1901 (1969) p. 21.
31. Matsumoto K., Asukata R., and Kawashima T. «The Practice of Refuse Incineration in Japan — Burning Refuse with High Moisture Content and Low Calorific Value» Proc. ASME Incinerator Conference (1968) p. 180.
32. Anon., «Analysis of Composition of Rubbish in the United States» Solid Wastes Management 9 (15), 74 (1972).
33. Davidson, G. R. Jr. «A Study of Residential Solid Waste Generated in Low-income Areas» EPA Report SW-83 ts (1972).
34. Partridge, L. J. Jr., and Harrington, J. J. Quantitative Estimates for Solid Waste Management in Boston» Discussion Paper 71-4, Environmental Systems Program Harvard University, (Dec. 1971).

Таблица 2.55

Вместимость печи, т/сут	Тип воздухоочистительного оборудования	Тип решетки (колосников)	Точка места отбора пробы	Примечания	1	2	4
250	Сухая камера	Двойного изменения потока	Печь	Дожигание	10	13,5	16
120	Увлажнение стенки	Качающийся	»	Нижний подогрев и дожигание	17	23,5	30
250	Увлажнение перегородки	Возвратно-поступательного движения	»	Нижний подогрев	10	14,6	19,2
			»	Предел	3,4	6,5—10,5	12—21
			»		2,3	4,5	8
220	Механический циклонный сепаратор	Двойного изменения потока	После охлаждающего и перед воздухоочистительным оборудованием	С нижним подогревом и дожиганием	2,5	7	18
250	Сухой циклонный сепаратор	С круговым движением	Бункер	С нижним подогревом и дожиганием			
250	Увлажнение стенки	Двойного изменения потока	»		0,6	2,8	7,2
240	Электро-фильтр	Цилиндрический	»	Бункер со стороны входа осадителя (Европа)	0,2	1,8	6,5
	»		»	Бункер со стороны выхода осадителя (Европа)	0,05	3	9
267	»	Качающийся	»	Бункер со стороны входа осадителя (Европа)	0,5	4	10,7
	Электро-фильтр		»	Бункер со стороны выхода осадителя (Европа)	0,01	0,2	1,2
600	»	Возвратно-поступательного движения	»	Бункер со стороны входа осадителя (Европа) *	1,6	3	4
	»		»	Бункер со стороны выхода осадителя (Европа) *	0,25	1,2	3

Распределение по размеру частиц, вылетающих из печи для сжигания мусора [7]

Содержание, %, частиц с эффективным диаметром, мкм

6	8	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500	600	700	800
19	21	23	27,5	31,5										
33,7	36,3	38,1	45	52										
22,3	24,8	26,8	34,6	49										
17—29	20—32	25—40	38—50	51—74	50—81	66—86	70—91							
12	15	17	30	48	59	68	73							
25	30,5	39,5	59	75	82	85	91							
			33	54	66	74	80	93	95,5	97,2	98,2	98,6	99,1	99,3
8	12	13,8	20	22,5	30	34	62							
10	13	17,5	25	31	38	45	52							
14	17,5	20,4	32	40	48	56	64							
15	18	21	32	39	45	50	58							
2	2,8	3,5	7	11	15	20	31							
4,3	5	5,3	6,1	12	27	41	53	82						
3,8	4,6	5,3	8,5	21	47	68	80	97,6						

Вместимость печи, т/сут	Тип воздухоочистительного оборудования	Тип решетки (колосников)	Точка места отбора пробы	Примечания			
					1	2	4
250	электро-фильтр	5-направленное изменение потока	Бункер	Типичное европейское	1	3,4	7,6
	Сухая камера		На выходе		1,1	3,3	10
250	Увлажнение перегородок	Двойного изменения потока	То же	При 122,6%-ном избытке воздуха применяется дожигание			1,2
			На выходе	При 122,6%-ном избытке воздуха применяется дожигание			0,3
			То же	При 120%-ном избытке воздуха применяется дожигание			0,65
250	Увлажнение стенки	Двойного изменения потока	»				8
250	Разбрызгивание	То же	»	Нижний обогрев и дожигание			3,5
250	»	»	»	То же			1,7
250	Увлажнение стенки	»	»				10,7
250	То же	Тройного изменения потока	На выходе	Нижний обогрев и дожигание	0,5	2,3	4,2
250	»	Двойного изменения потока	То же	Ориентирующие данные			
250	Увлажнение перегородки	То же	»	Нижний обогрев и дожигание		2,3	10
300	Скруббер	качающийся	»	То же			
250	Сухая камера	Двойного изменения потока	»	»			

* Уголь сжигается в печи (общий дымоход).

Содержание, %, частиц с эффективным диаметром, мкм														
6	8	10	20	40	60	80	100	200	300	400	500	600	700	800
11	14	17,5	29	40	50	58	68							
15	20	24	39	60	69	71	77	93	97,5	98,8	99,2	99,5	99,6	99,8
4,5	9,5	15,2	49,5	82										
1,85	3,5	7,8	26	75										
2,8	7	13,5	41,7	85										
12,5	15,5	17,8	42,4	56,8	70	74,5	90							
7	8,5	10,5	22	42	57	67	72	96,5	99,4	99,5				99,6
3,5	7	11,6	30	47,4	59	62	70,5	88	93	95	95,8	96,5	97	97,5
13,3	15	16	45	56	78									
8	11	37	78	92	98									
		1,5	11	23	30	37	58	67	74	78				
15,5	20	25	39	58,9	69	71	80	94,8	97,8	98,7	99,1	99,4	99,6	99,7
				22	50	69	78	93	96,5	98	98,8	99,2	99,3	99,6

35. Govan F. A. «High Rise Disposal Problems», *Refuse Removal Journal* 10 (6) (1967).
36. Spooner C. S. «Solid Waste Management in Recreational Forest Areas» EPA Report SW-16ts (1971).
37. Weaver L. «Refuse and Litter Control in Recreational Areas», *Public Works* (Apr. 1967).
38. Baffo J. J. and Bartilucci N. «Bulky and Semolition Wastes», Report to the City of New York, John Baffo Consulting Engineers, N. Y. (1968).
39. «Water Pollution Aspects of Urban Runoff», report by the APWA to the FWPCA (Jan. 1969).
40. «Manual of Street-Sweeping Practice», APWA Publication (1966).
41. Darnay A. J. Jr., and Franklin W. E. «The Role of Packaging in Solid Waste Management 1966—1976», PHS Publication No. 1855 (1969) p. 117.
42. «Louisville, Kentucky-Indiana Metropolitan Region Solid Waste Demonstration Project, Vol. 1 (Jefferson County, Kentucky), VADHEW, Bureau of Solid Waste Management (1970).
43. «Study of Economics of Hospital Solid Waste Systems», Progress Report: June 1, 1970-May 31, 1971, Division of Environmental Health, School of Public Health, University of Minnesota.
44. «Solid Waste Management Plan for City and County of Honolulu-Supplement Hawaii State Solid Waste Management Plan» (July 1971).
45. «Industrial Solid Waste Survey, Oregon: 1970», Oregon State Board of Health, Solid Waste Section (1971).
46. Prasky C. «New Improvements in Use of Ferrous Scrap», Proc. 2nd Mineral Waste Utilization Symposium (Mar. 1970).
47. Dean K. C., Chindgren C. J., and Sterner J. W. «Research on Processing Systems for Automotive Materials», Proc. 2nd Mineral Waste Utilization Symposium (Mar. 1970).
48. Barthauer G. L., «Pollution Control of Preparation Plant Wastes—a R and D Project», Proc. AIMME Conference, New York (June 1971).
49. Dannenbert R. O., and Potter G. M., «Smelting of Military Electronic Scrap», Proc. 2nd Mineral Waste Utilization Symposium (Mar. 1970).
50. Nakamura H. H., Aleshin E., and Schwartz M. A. «Utilization of Copper, Lead, Zinc and Iron Ore Trailings», Proc. 2nd Mineral Waste Utilization Symposium (Mar. 1970).
51. Gillespie W. J., Gellman I., and Janes R. L. «Utilization of High Ash Papermill Waste Solids», Proc. 2nd Mineral Waste Utilization Symposium (Mar. 1970).
52. Butler D. M., and Graham W. M., «Dismantling Railroad Freight Cars», EPA/BSWM Publication SW-3/c (1969).
53. Hough J. H., and Barr H. T. «Possible Uses for Waste Rice Hulls in Building Materials and Other Products», USDA Bull 507 (June 1956).
54. Pettigrew R. J., and Roniger F. H. «Rubber Reuse and Solid Waste Management» EPA Publication SW-22c (1968).
55. Deoxidation of Steel using Waste Aluminizing Dross: A Feasibility Study» BuMines Technical Progress Report TPR-55 (July 1972).
56. Cummins R. L. «A Study of Solid Waste Management in the Tobacco Products Industry», Open File Progress Report T05.4/0 (1970).
57. Kaiser E. R., Kasner D., and Zimmer C. «Incineration of Bulky Refuse III», Proceedings ASME Incinerator Conference, New York (1972) p. 338.
58. Kaiser E. R. «Refuse Composition and Flue-Gas Analysis from Municipal Incinerators», Proceedings 1964 ASME Incinerator Conference, New York, May 18—20 (1964) pp. 35—51.
59. Kaiser E. R. «Incineration of Bulky Refuse», Proc. ASME Incinerator Conference, New York (1966).
60. Thoemen K. H. «Contribution to the Control of Corrosion Problems on Incinerators with Water-Wall Steam Generators», Proc. ASME Incinerator Conference, New York (1972) p. 310.
61. Miller P. D., and Krause H. H. «Corrosion of Carbon and Stainless Steels in Flue Gases from Municipal Incinerators», Proc. ASME Incinerator Conference, New York (1972) p. 300.

62. Wisely F. E. «Study of Refuse as Supplementary Fuel for Power Plants», Horner and Shilrin, Inc., Report to City of St. Louis, on Bureau of Solid Waste Management Grant No. 1-D0k-UI-00176-01 (Mar. 1970).
63. Unpublished data, Bureau of Solid Waste Management, Division of Technical Operation, study during 9—13 December, 1968, covering Atlanta and DeKalb Co., Ga.
64. Carotti A. A., et al. «Air-borne Emmissions from Municipal Incinerators», interim reports, Contract PH 86-68-121, U. S. Public Health Service (1969).
65. Kaiser E. R.; City of Orlando, Fla.; and Gannett, Fleming, Corddry, and Carpenter, Consulting Engineers; unpublished data from 9 refuse samples from City of Orlando, Fla.
66. Smith W. S., and Gruber C. W. «Atmospheric Emissions from Coal Combustion, an Inventory Guide», NAPCA Publication No. AP-24 (1966).
67. Johnson H. «Determination of Selenium in Solid Waste», Environmental Science and Technology, 4 (10): 850—853 (Oct. 1970).
68. Callihan C. D. and Dunlap C. E. «Construction of a Chemical-Microbial Pilot Plant for Production of Single Cell Protein from Cellulosic Wastes» EPA-OSWMP Publication SW-24c (1971).
69. «Omaha-Council Bluffs Solid Waste Management Plan—Status Report 1969» EPA-OSWMP Publication SW-3 tsg (1971).
70. Cassell E. A. and Anthonisen A. «Studies on Chicken Manure Disposal: Part I, Laboratory Studies», Research Rept. No. 12, N.Y. State Dept. of Health (1966).
71. Benne E. J., and Hogland C. R., Longnecker E. D., Cook R. L. «Animal Manures—What are They Worth Today?» Agricultural Experimental Station, Michigan State University, Bulletin No. 231 (1961).
72. Chance C. M. «Non-Protein Nitrogen and Poultry Litter in Ruminant Diets» Proc. Maryland Nutrition Conference, Mar. 18—19, (1965).
73. Casady R. B. «Value and Use of Rabbit Manure» USDA Report CA-44-47, Agricultural Research Service, Animal Husbandry Research Division, Feb. 1962.
74. «High-Pressure Compaction and Baling of Solid Waste» EPA-OSWMP Publication SW32nd (1972).
75. Kaiser E. R. «The Incineration of Bulky Refuse II» Proc. ASME Incinerator Conference, Cincinnati (1968) p. 129.
76. «District of Columbia Solid Waste Management Plan—Status Report 1970» EPA-OSWMP Publication SW-4tsg (1971).
77. Corey R. C. Ed «Principles and Practices of Incineration», Wiley-Interscience, New York (1969) p. 83.
78. Lange N. A. Ed. «Lange's Handbook of Chemistry», 10th Edition (Revised) McGraw-Hill, New York (1969) p. 1577.
79. Wilson D. L. «Prediction of Heat of Combustion of Solid Wastes from Ultimate Analysis», Env. Sci. and Tech., 6: 13, December 1972, pp. 1119.
80. Thurnau R. C. «The Explosive Hazard of Incinerator Dust», Open File Report WP-02-69-24, EPA-DSWMP (1970).
81. Dersh H. G. Jr., Jacobson M., Nagy J., and Williams R. P. «Laboratory Equipment and Test Procedures for Evaluating Explosivity of Dusts», Bureau of Mines Reports of Investigation RI-5621 (1960).
82. Henn J. J., and Peters F. A. «Cost Evaluation of a Metal and Mineral Recovery Process for Treating Municipal Incinerator Residues» Bureau of Mines Information Circular IC-8533 (1971).
83. Kenahan C. B., and Sullivan P. M. «Let's Not Overlook Salvage», APWA Reporter, American Public Works Assn., March 1967, p. 5—8.
84. Achinger W. C., and Daniels L. E. «An Evaluation of Seven Incinerators», ASME Incinerator Conference, Cincinnati, 1970, pp. 32.
85. Gotsch L. P., Presentation in Proc. First National Conference on Packaging Wastes, EPA-OSWMP Publication SW-9 rg, 1971, p. 71.
86. Criss G. H., and Olsen A. R. «The Chemistry of Incinerator Slags and their Compatibility with Fireclay and High Alumina Refractories» Proc. ASME Incinerator Conference, New York (1966).
87. Herbert D. B. «The Nature of Incinerator Slags», Proc. ASME Incinerator Conference, New York (1966).

Так как отходы могут содержать любое из твердых веществ, встречающихся в природе, а кроме того, и большинство искусственных материалов, то они представляют собой наиболее гетерогенную смесь возможных веществ. Законы и местные муниципальные постановления могут запрещать сброс определенных материалов в отходы, однако это не служит гарантией того, что такие вещества случайно не окажутся в мусоре. Так, в бытовых отходах находили боевые патроны или взрывчатые вещества, высокотоксичные соединения или болезнетворные культуры.

Степень гетерогенности промышленных отходов по сравнению с гетерогенностью бытовых, как правило, меньше, однако их состав и свойства обычно очень сильно изменяются в зависимости от технологии.

В табл. 3.1—3.4 приведены основные компоненты некоторых представительных образцов бытовых, торговых, сельскохозяйственных и промышленных отходов (см. также гл. 2, 11 и 12).

Описанные в работе [1] вредные свойства характерны, в основном, для чистых веществ или соединений. Эти материалы могут присутствовать в твердых отходах, однако существует и много других опасностей. Так, вредными могут оказаться смеси соединений, каждое из которых в отдельности не является опасным, большие массы отходов, хотя в малых количествах они и безопасны. Кроме того, вредности зависят от вида отходов, а также от способа транспортировки и последующей их переработки.

Масштаб потенциальной опасности для здоровья людей твердых отходов, ранее считавшихся сравнительно безвредными, был оценен только недавно, и поэтому имеющиеся в этой области данные исключительно скудны. Вопрос о том, следует или нет рассматривать данный тип отходов опасным, можно решить с помощью представленной на рис. 3.1 диаграммы, разработанной Агентством охраны окружающей среды.

Таблица 3.1. Содержание различных материалов в коммунальных отходах (по сухому остатку), % по массе [2]

Компоненты отходов	Квонд-Сити, Нью-Джерси	Цинциннати, Огайо	Сан-Диего, Калифорния	Институт Бэтла	Агентство охраны окружающей среды
Бумага	47	42	46,1	55	45
Стекло	5	8	8,3	9	10
Металл	9	9	7,7	9	11

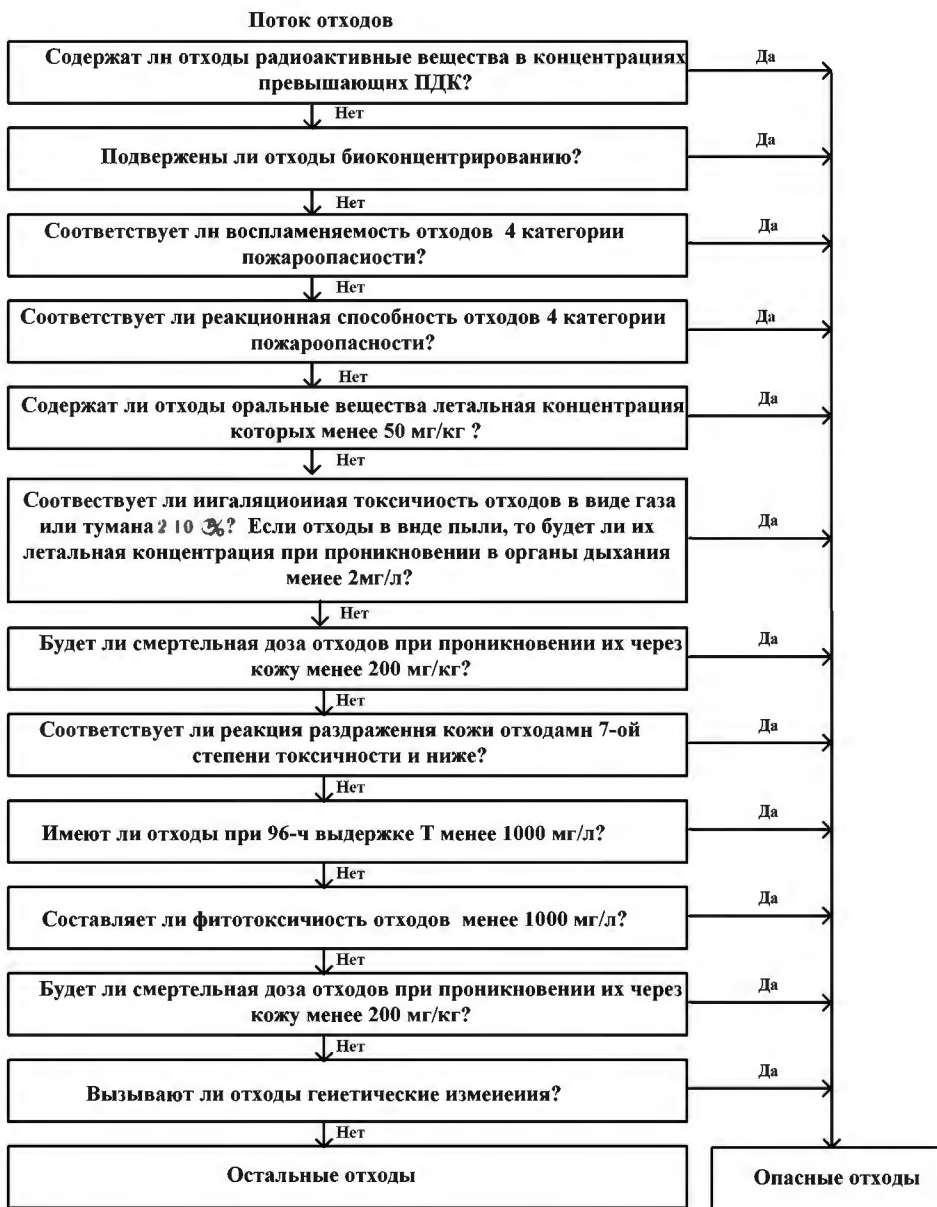


Рис. 3.1. Блок-схема вредности отходов в рамках классификационной модели

Компоненты отходов	Квонд- Сити, Нью- Джерси	Цинцин- нати, Огайо	Сан- Диего, Кали- форния	Институт Бэтла	Агент- ство охраны окру- жающей среды
Пластмасса	2	2	0,3	1	5
Древесина	4	3	7,5	4	2
Пища	31	28	0,8	14	17
Тара	—	6	21,1	5	4
Одежда	—	1	3,5	—	3
Разное	2	1	4,7	3	3

Таблица 3.2. Количества образуемых и утилизируемых промышленных отходов (данные 1965 г.) [3]

Виды отходов	Количество образуемых отходов, млн. кг/год	Доля утилиза- ции отходов
Производственные		
Продукты питания	5221	0,08
Мясные продукты	1345	0,44
Фабричные текстильные изделия	1194	0,351
Одежда и родственные товары	445	0,291
Деревянные контейнеры	2268	0,31
Пиломатериалы	87 440	0,66
Прокат	487	0,47
Деревянная мебель	1905	0,26
Бумага	5039	0,1
Печатные издания	3288	0,68
Химикалии	1192	0
Краски	147	0
Асфальтовое покрытие	536	0,03
Резина	1317	0
Отходы дубления кожи	276	0,02
Стекло	1453	0,16
Консервные банки	442	0,812

Виды отходов	Количество образующихся отходов, млн. кг/год	Доля утилизации отходов
Заводские изделия из металлов и оборудование, исключая электрическое	5601	0,512
Электрооборудование	1657	0,244
Автомобили и самолеты	2627	0,5
Непроизводственные		
Отходы очистки хлопка	1741	0,59
Отходы от разборки зданий	17 297	0
Отходы скотопригонных дворов	871	0,61
Отходы магазинов самообслуживания	15 345	0,4

Таблица 3.3. Количество твердых отходов, образующихся из основных сельскохозяйственных культур (данные 1966 г.) [4]

Засеваемая культура	Посевные площади, га	Количество отходов		Виды отходов
		т/год на 1 га посевной площади	млн. т/год	
Кукуруза (на зерно)	22 755	11,25	255,996	Листья, стебли
Пшеница (на зерно)	19 937	3,25	67,796	Жнивные
Овес (на зерно)	7 139	4,5	32,162	»
Ячмень (на зерно)	4 090	4,5	18,407	»
Рожь (на зерно)	513	3,25	1,668	»
Смешанные хлебные злаки	400	3,25	1,3	»
Рис	787	7,5	5,901	»
Льняное семя	051	2	2,102	Листья, стебли
Люцерно-клеверное семя	525	2	1,05	То же
Сорго (на зерно)	5 135	7,5	38,511	»
Хлопок	3 838	5	19,19	»
Бобы сухие	608	5	3,038	»
Горох сухой	138	5	0,69	Листья, стебли
Соевые бобы	14 658	5	73,228	То же
Земляной орех	574	7,5	4,308	»

Засаеваемая культура	Посев- ные площади, га	Количество отходов		Виды отходов
		т/год на 1 га посевной площади	млн. т/год	
Картофель	592	7,5	4,437	Листья, поза
Сладкий картофель	75	7,5	0,561	То же.
Табак	387	1,25	0,488	»
Сахарный тростник	252	1,25	0,315	Листья, стебли
Сахарная свекла	464	1,25	3,488	Листья
Овощи	1 454	7,5	10,908	Листья, стебли
Фрукты, орехи	1 880	5	9,398	Обрезки, листья
Итого	87 255	—	551,956	6,9 т/год на 1 га посевной площади

Примечание. В таблицу не включены засеваемые культуры, которые не дают отходов (травы на сено, кукуруза на силос и т. д.).

Таблица 3.4. Количество твердых отходов, образующихся на отдельных стадиях добычи и переработки руд и ископаемых топлив (данные 1965 г.), тыс. т [4]

Отрасль промышленности	Отходы от добычи	Отходы от дроб- ления	Отходы от уста- новок мокрого обога- щения	Шлак	Отходы от перера- батываю- щих заводов	Сумма
Производство меди	286 600	170 500	—	5 200	—	4 466 700
Производство железа	117 599	100 589	—	14 689	1 000	233 877
Производство битуминозного угля	12 800	—	86 800	—	—	99 600
Добыча апатитов	72	—	54 823	4 030	9 383	68 308
Производство свинца и цинка	2 500	17 811	970	—	—	20 311
Производство алюминия	—	—	—	—	5 350	5 350

Отрасль промышленности	Отходы от добычи	Отходы от дробления	Отходы от установок мокрого обогащения	Шлак	Отходы от перерабатывающих заводов	Сумма
Добыча антрацита	—	—	2 000	—	—	2 000
Получение каменноугольной золы	—	—	—	—	24 500	24 500
Остальное ¹	—	—	—	—	—	229 284
Итого	419 571	288 900	144 593	23 919	40 233	1 146 500

¹ Отходы, получаемые при добыче и переработке остальных минеральных руд.

3.1. ПЕРВИЧНЫЕ ОПАСНОСТИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ТВЕРДЫМИ ОТХОДАМИ

Твердые отходы, такие, как взрывчатые вещества, зажигательные устройства или ядовитые вещества, представляют собой наиболее очевидную опасность для жизни человека. Рекомендации по предупреждению большинства из этих потенциальных опасностей приведены в работе [1].

Отдельная категория включает широкий диапазон отходов, которые хотя и не являются токсичными, могут нанести травму. Оконное стекло становится твердым отходом с момента, когда его разбивают, и в это время оно опасно для людей и животных. Стружка, образующаяся при обработке металлов на токарных станках, относится к той же категории, но опасность ее обусловлена еще и тем, что она может вызвать ожоги или отрицательные физиологические реакции при попадании на кожу содержащихся на ней смазок, используемых при резании металлов.

Ряд веществ может причинить вред или физические увечья либо всем людям, либо отдельным лицам, чувствительным к таким веществам. В контейнерах наряду со многими другими жидкими соединениями встречаются кислоты и щелочи. Емкости для хранения пестицидов вызывали отравление и смерть детей, которые играли с ними [5]. Сильную реакцию на некоторых лиц оказывают пластификаторы или отвердители, используемые в производстве пластических смол.

Особое место занимают медицинские твердые отходы. Для сохранения в контейнере культуры, которая может вызвать заболевание, требуются ничтожно малые количества органического материала. Кроме того, культура может сохраняться и на медицинском

инструменте. Легкомысленное выбрасывание использованных ножей в мусорные корзины приводило часто к заражению санитаров, когда они руками очищали контейнер.

Опубликованная в ФРГ работа, посвященная заболеваниям, вызванным отходами [6], показала, что наиболее опасной является практика более 70% медицинских лабораторий и институтов, где специфические отходы собирают вместе с бытовыми. Все медицинские отходы необходимо хранить в закрытых пластмассовых коробках, а выбрасывать отдельно от других типов отходов.

Установлено, что половина от всех зарегистрированных вспышек сальмонеллеза в США происходила в больницах [7].

Болезнетворные бактерии присутствуют в очень больших концентрациях в твердых отходах больниц. Тригг [8] показал, что наибольшее число коли-формов встречается в отходах педиатрического и психиатрического отделений, а также отделения интенсивной терапии. Армстронгом найдено, что больничные мусоропроводы являются переносчиками находящихся в воздухе бактерий [9]. Особенно важно использование закрытых пластмассовых мешков, а для удаления наименьших твердых частиц, которые могут проникать в дыхательные пути, необходима система вентиляции и очистки воздуха.

Повторное использование в больницах и клиниках бывших уже в употреблении иглол, скальпелей, тампонов, полотенец, халатов, термометров, установок для переливания, постельных подушек, простыней, тарелок, посудных принадлежностей и т. д. предусматривает их специальную обработку для того, чтобы избежать внутрибольничной инфекции. Особая опасность возникает, если загрязненное нетканое белье стирают в прачечных вместе с остальным бельем. Оно, по-видимому, разрушается, распространяется по другой одежде и разносит, таким образом, инфекцию по всей клинике [10].

3.2. ВОЗДУШНЫЙ ПЕРЕНОС ПАТОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ

Образцы воздуха, взятые в США из коммунальных установок для сжигания отходов и завода по приготовлению компоста, показали, что значительную опасность для здоровья людей представляют патогенные вещества, находящиеся в пыли. Пыль переносит большое число микроорганизмов, включая патогены кишечного происхождения и из дыхательных путей. Степень опасности зависит от концентрации пыли и от типов переносимых в ней организмов.

В табл. 3.5—3.7 даны микробиологические характеристики представительных проб окружающей среды в воздухе, взятых в различных местах коммунальных установок для сжигания отходов. В случае применения для сжигания отходов установок улучшенной конструкции микробиологические уровни могут быть несколько ниже, так как воздух, требуемый для сжигания отходов, берут из бункеров для хранения мусора.

Таблица 3.5. Микробиологические уровни типичных проб окружающей среды [11]

Окружающая среда	Общие микробиологические уровни [количество колоний в 28 дм ³ (1 куб. фута) воздуха]
Воздух в сельской местности	56
Конторы и школы	95
Улицы городов	72
Заводы	113

Грибковые споры также могут вызвать заболевание (микозы), проникая через дыхательные пути в горло и легкие.

3.3. АСБЕСТОВАЯ ПЫЛЬ

Относительно недавно были выявлены раковые заболевания людей, работающих с асбестом, включая и тех, кто занимается уничтожением отходов. В настоящее время во многих странах принимаются все меры предосторожности с целью охраны здоровья людей, работающих с асбестом. Особенно строгие правила контроля распространяются на одну из наиболее опасных форм асбеста — голубой кроцидолит. Тем не менее при переработке лома также приходится сталкиваться с асбестом, так как поступающие на склады металлические отходы, например трубы, котлы, резервуары, загрязнены теплоизоляцией из этого материала. Кроме того, рабочие, занятые в этой отрасли промышленности, часто вынуждены иметь дело с такими материалами при уничтожении или разборке различных объектов (табл. 3.8 и 3.9).

При вдыхании в течение длительного периода больших концентраций асбестовой пыли можно заболеть сжимающим асбестозом. Иногда это приводит к развитию рака легких, что усугубляется, если рабочие являются заядлыми курильщиками. Другая редкая форма рака — эндотелиома, поражающая грудную клетку или стенки желудка, иногда встречается, главным образом, в результате воздействия определенных типов голубого асбеста.

Типы асбеста. Известны следующие основные типы асбеста: амозит (серый и коричневый), антофиллит (белый), хризотил (белый) и кроцидолит (лилово-голубой). Как уже говорилось, кроцидолит является наиболее опасным типом асбеста, и, хотя в настоящее время он очень редко применяется в промышленности, в прошлом его широко использовали, в частности, из-за высоких показателей кислотоустойчивых свойств. Поэтому этот тип асбеста можно обнаружить в парах кислот в районах химических заводов и газовых установок, его также находят и на электростанциях. Кроцидолит

Таблица 3.6. Эффективность установок для сжигания отходов различной твердых отходах [11]

Конструкция установки для сжигания	Число исследованных образцов	Общие коли			
		Твердые отходы			
		общие жизне-способные клетки	теплоустойчивые споры	общие коли-формы ²	фекальные коли-формы ²
I					
Непрерывная загрузка, подвижной колосник	4	$1,1 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^5$
II					
Периодическая загрузка, циркулирующий колосник	3	$4,5 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^5$	$6,7 \cdot 10^5$	$5,1 \cdot 10^5$
III					
Непрерывная загрузка, вращающаяся обжиговая печь	6	$7,8 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^1$	$1,6 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^5$
IV					
Периодическая загрузка, колосник возвратно-поступательного движения	3	$4,8 \cdot 10^1$	$3,1 \cdot 10^1$	$1,1 \cdot 10^6$	$6,3 \cdot 10^5$
V					
Непрерывная загрузка, коническая горелка	4	$6,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^7$	$8,1 \cdot 10^6$
VI					
Непрерывная загрузка, вращающаяся обжиговая печь	2	$5,4 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^1$	$1,3 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^6$
VII					
Непрерывная загрузка, вращающаяся обжиговая печь	2	$4 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^1$	$3,4 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$
VIII					
Непрерывная загрузка, колосник возвратно-поступательного движения	3	$3 \cdot 10^1$	$1,6 \cdot 10^5$	$8,6 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$

¹ Количество в 1 г.

² Определены методы наиболее вероятного числа для установок I—V и методом мембранного фильтра для установок VI—VIII.

конструкции с точки зрения разрушения микрофлоры в коммунальных

чество бактерий

Остаток				Охлаждающая вода ¹			
общие жизне- способ- ные клетки ¹	тепло- устой- чивые споры	общие коли- формы ¹	фекаль- ные коли- формы ²	общие жизне- способ- ные клетки ¹	тепло- устой- чивые споры	общие коли- формы ²	фекаль- ные коли- формы ²
$9 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10$	$1,2 \cdot 10^3$	$4,7 \cdot 10^3$	—	—	—	—
$1,1 \cdot 10^7$	$2,9 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^3$	28	—	—	—	—
$2,3 \cdot 10^5$	$9,7 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^2$	20	—	—	—	—
$1,3 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^3$	4	<1	—	—	—	—
$1,3 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10$	26	38	—	—	—	—
$5 \cdot 10$	60	<100	<100	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	<100	<100
$2,7 \cdot 10^3$	10	<100	<100	$1,4 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$	<100	<100
$1,8 \cdot 10^2$	16	<100	<100	$3,4 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^4$	$1,7 \cdot 10^4$

Количество в 100 мл. (Неясно, к чему относится эта сноска в таблице, — Примеч. науч. ред.).

В установках I—IV пробы охлаждающей воды не были отобраны, в установке V вода для охлаждения не используется.

Т а б л и ц а 3.7. Характеристика грамположительных кокков и грамотрицательных бацилл, выделенных из 7 дм³ [0,25 куб. фута] воздуха [11]

	Грамположительные кокки					Грамотрицательные бациллы				
	сумма	стафило- кокки аureus	стафило- кокки эпи- дермические	диплококки пневмони- ческие	(α-гемолити- ческие стрептококки	сумма	аэробные бактерии	кишечная палочка	пнеумококки Клебелла	осталь- ные
Площадка для выгруз- ки отходов										
Установка для сжига- ния:										
I	27	2	19	0	6	82	29	2	1	50
II	34	1	18	1	14	66	26	6	2	32
III	45	2	25	1	17	28	8	2	0	18
IV	43	0	23	0	20	40	26	4	1	9
V	6	0	0	0	6	100	0	0	0	100
VI	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Площадка для загруз- ки отходов в печь										
Установка для сжига- ния:										
I	55	1	44	1	9	31	12	2	0	17
II	43	1	13	0	29	28	10	1	0	17
III	7	0	4	0	3	22	1	1	0	20
IV	34	1	17	0	16	24	13	0	2	9
V	4	0	0	0	4	17	0	0	0	17
VI	1	0	0	0	1	4	2	2	0	0
Зона остатка										
Установка для сжига- ния:										
I	48	0	34	0	14	25	15	1	0	9
II	22	0	7	0	15	3	0	0	0	3
III	7	4	0	0	3	11	0	1	0	10
IV	6	0	3	0	3	1	1	0	0	0
V	0	0	0	0	0	7	4	0	0	3
VI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

¹ Proteus, Pseudomonas, Alcaligenes.

часто трудно определить только по цвету, если он находится в смеси с другими типами асбеста и, хотя, как правило, содержание примеси кроцидолита не превышает 1—2%, он даже в таких концентрациях при вдыхании пыли может представлять большую опасность.

Пороговая предельная концентрация (ППК) асбестовой пыли. В основе британских норм работы с асбестом лежат две величины: концентрация вдыхаемой асбестовой пыли в атмосфере зоны, где производятся работы, и время пребывания людей в этой зоне. Для различных типов асбеста приняты следующие ППК: хризолит (белый) и амозит (серый и коричневый) — 2 асбестовых волокна в 1 см³ в среднем за 4-часовой рабочий день и не свыше 12 асбестовых волокон в 1 см³ за любые 10 мин; кроцидолит (голубой) — 0,2 асбестовых волокна в 1 см³ в среднем за 10 мин.

Удаление старой изоляции представляет собой серьезную опасность, так как это обычно исключительно пыльный процесс. Прежде всего требуется установить типы асбеста, используемого в изоляции, и если такие данные отсутствуют, то необходимо определить, содержится ли в изоляции голубой асбест. Если это сразу установить не удастся, то следует отобрать пробы для анализа из различных мест. Затем необходимо решить, какой метод удаления изоляции применить — мокрый или сухой. В основном это зависит от местных условий, хотя мокрый способ всегда более предпочтителен. Подобранный метод определяет количество выделяемой пыли, а от этого зависят выбор защитной одежды и типа противогаза. Как правило, когда в изоляции содержится голубой асбест, то работать следует в противогазах, в которых поддерживается избыточное давление. В других случаях можно использовать противопылевой респиратор. Если изоляцию удаляют в помещениях, где идут и другие работы, то используют пластмассовые экраны или щиты, которые монтируют вокруг установки. Это может уменьшить концентрацию асбестовой пыли на соседних рабочих местах до приемлемого уровня.

Полное насыщение водой асбестовой изоляции, если это возможно перед ее удалением, позволяет в значительной степени уменьшить количество выделяемой пыли. По всей видимости, для обработки каждого изделия требуется своя методика. Так, например, не поглощающие воду металлические поверхности необходимо предварительно просверливать, чтобы вода проникла в изоляцию. Можно также распылять мелкие капли воды при пониженном давлении. Орошение не так эффективно, как общее насыщение, так как дополнительно приходится использовать вытяжное вентиляционное оборудование и работать в респираторах.

Удаляемую изоляцию следует сразу же поместить в пластмассовые мешки, а затем захоронить.

Не всегда возможно применять «мокрый» метод. Так, тяжелые мешки, в которых находится насыщенный водой асбест, могут оказаться слишком громоздкими, чтобы пронести их через узкие

Таблица 3.8. Идентификация возможных источников происхождения асбестовых материалов

Отрасль промышленности	Происхождение асбестовых материалов
Производство электроэнергии	Тепловая изоляция (особую опасность представляет голубой асбест)
Производство стали	Тепловая изоляция
Локомотивостроение	Тепловая и звуковая изоляция (особую опасность представляет ранее использовавшийся голубой асбест)
Производство железнодорожных вагонов	То же
Производство бумаги	Производство фильтровальной бумаги и дефибрирование роликов
Ремонт автомобилей	Ремонт тормозной системы и сцепления
Строительная	Асбестоцементные листы и изоляционные плиты, распыление асбеста
Производство электроизоляции	Изоляционные системы
Химическая	Тепловая изоляция (особую опасность представляет кислотоустойчивый голубой асбест)
Газовая	То же

Примечание. Другие источники поступления асбестовых изоляционных материалов: строительство судов; ремонт судов; монтаж установок на заводах тяжелой промышленности, например в черной металлургии; крупные строительные объекты — промышленные или бытовые, например школы или изоляция и ремонт обогревательной аппаратуры.

Таблица 3.9. Безопасные асбестовые отходы

Материал и изделия	Область применения асбеста
Линолеум Половая плитка Резина Краски Пластмассы Клей Компоненты покрытий	В качестве наполнителя в смесях с другими компонентами
Узлы автомобиля	
Лампы	Шлифовка в узлах тормозной системы и сцепления
	Шайбы и прокладки

проходы и поднимать по крутым ступеням (заводские подвальные помещения или разборка корабля). При этих условиях старую изоляцию удаляют в сухом виде.

При выборе методов предпочтение следует отдать тем, при которых выделяется наименьшее количество пыли. Рабочих необходимо обеспечить защитным оборудованием высшего качества — тяжелыми рабочими непроницаемыми комбинезонами с капюшонами и изолирующими противогазами, соединенными с источником чистого сжатого воздуха, или мощными респираторами, в которых поддерживается избыточное давление (независимо от типа асбеста).

Защитную одежду должны надевать все рабочие, находящиеся вблизи места, где проводят операции по удалению изоляции, и дышащие асбестовой пылью. Зоны, внутри которых необходимо соблюдать меры предосторожности, должны быть ограждены и обозначены. По возможности, операции по снятию изоляции следует проводить в такое время, когда остальные рабочие находятся вне опасной зоны.

Все асбестовые отходы необходимо помещать в герметичные, пыленепроницаемые мешки. Бывшие в употреблении пустые мешки следует хранить плотно завязанными. Мешки, содержащие отходы кроцидолита, должны быть четко маркированы заглавными буквами: «Голубой асбест — пыль, не вдыхать».

Асбестовые отходы независимо от того, находятся ли они в непроницаемых мешках (а также в других закрытых емкостях) или нет, следует удалять таким образом, чтобы пыль не попадала в воздух при транспортировке, в процессе разгрузки и после нее. Емкости, содержащие отходы голубого асбеста, должны быть четко промаркированы. Для перевозки отходов, которые хранятся по всем правилам в непроницаемых мешках или в других соответствующим образом запечатанных емкостях, не требуется специального транспорта. Можно получить специальные контейнеры, которые после их заполнения увозят на специально оборудованных автомобилях непосредственно в могильник. Какой бы тип контейнера не использовался, нужно предпринять меры, чтобы предотвратить выделение пыли из контейнеров.

Мокрую асбестовую изоляцию следует транспортировать к месту ее ликвидации в цистернах для перевозки жидких отходов или на аналогичных автомашинах. После употребления все автомобили и контейнеры необходимо очистить от асбестовых волокон или пыли с помощью вакуума или любого другого беспыльного метода.

Все отходы, заложенные в могильник, должны быть покрыты, по крайней мере, 25-см слоем утрамбованной земли или другого подходящего материала, способного образовывать уплотнение и предотвратить последующее распространение пыли. Когда в место захоронения асбеста помещают другие сухие отходы, то они могут содержать достаточное количество материалов, которые можно применять для укрытия засыпки. Засыпку следует выполнить быстро (а для отходов из голубого асбеста — немедленно).

Сырые отходы при условии, что их не слишком много, также можно складировать в могильник, предназначенный для сухих отходов. Их также необходимо прикрывать, чтобы пыль не выделялась после того, как они высохнут.

3.4. РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ

В табл. 3.10 приведены характеристики основных потенциально опасных радиоактивных изотопов. К ним относятся изотопы, периоды полураспада которых превышают 100 дней. Самый большой период полураспада имеет U-236 (свыше 23 млн. лет).

Таблица 3.10. Потенциально опасные радиоактивные изотопы * [12]

Изотоп	Период полураспада, лет	Источ-ник **	Изотоп	Период полураспада, лет	Источ-ник **
H-3	12,33	1, 2, 3	Sm-151	93	1
Be-10	1 600 000	2	Eu-152	13	1
C-14	5 730	2	Eu-154	9,6	1
Na-22	2,601	2	Eu-155	4,8	1
Cl-36	301 000	2	Gd-153	0,662	1
Ar-39	269	2	Ho-166 m	1 200	1
Ca-41	130 000	2	Tm-170	0,353	3
Ca-45	0,447	2	Ta-182	0,315	3
V-49	0,907	2	W-181	0,333	2
Mn-54	0,856	2	Ir-192 m	241	3
Fe-55	2,7	2	Pb-210 ***	22,3	1, 2
Co-60	5,27	2	Bi-210	3 500 000	1
Ni-59	80 000	2, 3	Po-210	0,379	2, 3
Ni-63	100	2	Ra-226 ***	1 600	1, 2
Se-79	65 000	2	Ra-228 ***	5,75	1
Kr-85	10,73	1	Ac-227 ***	21,77	1
Sr-90 ***	29	1	Th-228 ***	1,913	1
Zr-93 ***	950 000	1, 3	Th-229 ***	7 340	1
Nb-93 m	12	1	Th-230 ***	77 000	1, 2
Nb-94	20 000	1, 2	Pa-231 ***	32 500	1
Mo-93	3 000	2	U-232 ***	72	1
Tc-99	213 000	2	U-233 ***	158 000	1
Ru-106 ***	1,011	1	U-234 ***	244 000	1
Rh-102 m	0,567	1, 3	U-236	23 400 000	1
Rd-107	6 500 000	1	Np-237	2 140 000	1

Изотоп	Период полу- распада, лет	Источ- ник **	Изотоп	Период полу- распада, лет	Источ- ник **
Ag-110 m	0,69	1	Pu-236 ***	2,85	1
Cd-109	1,241	1	Pu-238 ***	87,8	1, 3, 2
Cd-113 m	14,6	1	Pu-239	24 390	1, 2
Sn-121 m	50	1	Pu-240 ***	6 540	1, 2
Sn-123	0,353	1	Pu-241 ***	15	1, 2
Sn-126	100 000	1	Pu-242 ***	378 000	1
Sb-125	2,73	1, 2	Am-241 ***	433	1, 3
Te-127 m	0,299	1	Am-242 m	152	1
I-129	15 900 000	1	Am-243 ***	7 370	1
Cs-134	2,06	1	Cm-242 ***	0,446	1, 3
Cs-135	2 300 000	1	Cm-243 ***	28	1
Cs-137 ***	30,1	1, 3	Cm-244 ***	17,9	1, 3
Ce-144 ***	0,779	1, 3	Cm-245	8 500	1
Pm-146	5,53	1	Cm-246 ***	4 760	1
Pm-147	2,5234	1, 3	Cm-247 ***	15 400 000	1

* Критерии для включения изотопов: период полураспада изотопов должен быть больше 100 дней. Предполагается, что изотопы с периодами полураспада меньше 100 дней до ликвидации практически полностью распадаются или входят в долгоживущие исходные изотопы. По этой причине в таблицу не включены такие изотопы, как I-131 с периодом полураспада 8,065 дня.

** В таблицу не включены такие изотопы, как K-40, Rb-87, Th-232, U-235 и U-238 и т. д., периоды полураспада которых превышают 10^8 лет. Это относится также к 75 потенциально опасным радиоактивным изотопам, которые встречаются в исследовательских количествах.

** Источник: 1 — найдены в высокоактивных радиоактивных отходах заводов по регенерации ядерного топлива как государственных, так и частных; 2 — найдены в других отходах ядерной энергетики, таких, как отходы оболочек отработанного топлива, выделения из реакторов и отходы при добыче и измельчении руд; 3 — найдены в отходах иного, чем ядерная энергетика, происхождения, таких, как ядерные тепловые источники, источники облучения и биомедицинские приложения.

*** Указывает на присутствие опасных дочерних радиоактивных изотопов вместе с материнскими.

Ниже приведены типичные характеристики коммерческого могильника для захоронения радиоактивных отходов (Битти, шт. Невада) [12].

Собственность принадлежит шт. Невада, сдан в аренду «Ньюклар энджиниринг компани, инк»

Плотность населения в зоне практически не заселена

Расстояние от ближайшего города	в 19 км юго восточнее Битти
Зона:	
площадь	32 га
принадлежность	никому не принадлежит — пустыня
Средства сообщения	хорошие, автострада 95 США
Количество осадков	6,35—12,7 см в год
Дренаж	достаточный
Коренная порода:	
толщина	175 м (оценка)
тип	осадочная и метаморфная
Материал поверхности:	
толщина	175 м
тип	наносная глина, песок и т. д.
Грунтовые воды:	
глубина	84—92 м
уклон	юго-восточный, примерно 5,67 м на 1 км
Общие характеристики почвы	полузасушливая почва пустыни, большой слой грунта
Инструменты и приборы для контроля	14 геодезических приборов, фото-пленка, анализаторы воздуха и т. д.
Котлованы:	
размер	198×15,2×6,1 м
конструкция	стандартная с дренажем отстойника, 1,2 м засыпки, вода не собирается
Работа с отходами:	
транспортировка	осуществляется компанией
машинное оборудование	цистерны, трайлеры, бульдозер, 35-т кран
обработка	отверждение жидких отходов
захоронение	специальные ядерные материалы на дне, расщелины для высокоактивных материалов

От радиоактивных отходов нельзя «отделаться», они должны храниться вечно. В США за хранение таких отходов отвечает Комиссия по атомной энергии (КАЭ). В настоящее время отходы помещают в специальные барабаны и хоронят в шт. Айдахо. Жидкие отходы переводят в твердую форму. Состав подземной воды постоянно контролируется.

В местах временного хранения радиоактивных отходов должны быть основное и вторичное хранилища с непрерывным контролем состава воздуха во вторичном хранилище (например, в здании или пещере). Кроме того, требуется рытье наблюдательных колодцев для непрерывного контроля качества подземной воды. Радиоактивные отходы нельзя сжигать, для них непригодны и любые другие стандартные способы уничтожения твердых отходов. В табл. 3.11 приведены количества радиоактивных отходов, полученных в 1970 г.

Таблица 3.11. Количества радиоактивных отходов,
полученных в 1970 г. [12]

Источник отходов	Форма	Общая годовая активность, КИ	Масса, т/год	Основные радиоактивные элементы
Урановые отходы заводов по извлечению урановых руд	Шлам	$9 \cdot 10^3$	4 400 000	Ra, Th, Pb, Po
Коммерческое производство ядерной электроэнергии	Твердая или жидкая форма	$4 \cdot 10^7$	2 240	Ra, U, Th, Pu, Ag, Pe, H, Mn, Ni, Co, Ru, Cs, Ce, Sr, Sb, Pm, Eu, Am, Cm
Разнообразные частные источники	То же	$2 \cdot 10^5$	11 000—22 000	Co, Sr, Pm, Cs, Pu, Am, Cm
Правительственные источники	»	Данных нет		Pu, Am, Cm
Итого		$> 4 \cdot 10^7$	$> 4 413 240$	—

3.5. ОПАСНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ

В табл. 3.12 приведены количества вредных промышленных отходов, полученных в различных географических зонах США по данным 1970 г. Это очень приближенные цифры, так как состав опасных отходов непрерывно изменяется. Данные относятся как к твердым, так и к жидким отходам и шламам (отходы могут относительно легко переходить из одной формы в другую, и поэтому оценивать количества одних только твердых отходов неверно).

Таблица 3.12. Количества промышленных отходов, полученных в различных географических районах США в 1970 г., т/год [12]

Район	Неорганические вещества в воде	Органические вещества в воде	Органические вещества	Шламы* суспензии, твердые отходы	Сумма	Содержание, %
Новая Англия	95 000	170 000	33 000	6 000	304 000	3,1
Среднеатлантический	1 000 000	1 100 000	105 000	55 000	2 260 000	22,9
Северо-восточный центральный	1 300 000	850 000	145 000	90 000	2 385 000	24,2
Северо-западный центральный	65 000	260 000	49 500	18 500	393 000	4
Южноатлантический	230 000	600 000	75 000	80 000	985 000	10
Юго-восточный центральный	90 000	385 000	44 000	9 500	528 000	5,4
Юго-западный центральный	320 000	1 450 000	180 000	39 000	1 989 000	20,2
Западный (тихоокеанский)	120 000	550 000	113 000	30 500	813 000	8,3
Горный	125 000	5 000	50 000	11 500	191 500	1,9
Итого	3 345 000	5 370 000	794 500	340 000	9 849 500	100

* Преимущественно неорганические.

Данные о вредных веществах, содержащихся в промышленных отходах в широких категориях по отраслям промышленности, о содержании нерадиоактивных отходов (жидких, твердых и шламов) в различных зонах США, некоторые сведения о применяемых в настоящее время процессах переработки и уничтожения нерадиоактивных опасных отходов, а также о стоимости этих процессов приведены в табл. 3.13—3.16.

Таблица 3.13. Вредные вещества, содержащиеся в промышленных отходах [12]

Отрасль промышленности	As	Cd	Хлорированные углеводороды ¹	Cr	Cu	Цианиды	Pb	Hg	Разнообразные органические вещества ²	Se	Zn
Горнорудная и металлургическая	+	+		+	+	+	+	+		+	+
Производство красок и красителей		+		+	+	+	+	+	+	+	
Производство пестицидов	+		+			+	+	+	+		+
Электротехническая и электронная			+		+	+	+	+		+	
Производство печатных изданий и копий	+			+	+		+		+	+	
Гальваностегия и полировка металлов		+		+	+	+					+
Химическая			+	+	+			+	+		
Производство взрывчатых веществ	+				+		+	+	+		
Производство резины и пластмасс			+			+		+	+		+
Производство аккумуляторов		+					+	+			+
Фармацевтическая	+							+	+		
Текстильная				+	+				+		
Нефтяная и угольная	+		+				+				
Бумажная								+	+		
Кожевенная				+					+		

¹ Включая полихлорированные дифенилы.

² Например, акролеин, хлорпикрин, диметилсульфат, динитробензол, динитрофенол, нитроанилин и пентахлорфенол.

Таблица 3.14. Объем нерадиоактивных отходов, образующихся в различных районах США [12]

Отходы	Содержание по географическим районам США, %									Объем, кг/год	Примечания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
Водные неорганические отходы:											
хроматные отходы от крашения текстильных изделий	10,1	17,8	3,4	0,5	56,8	3,4	1,4	0,6	6	$9 \cdot 10^6$ (макс.)	
рассольная пульпа при получении хлора	2	11	10	—	19	22	24	—	12	$4,5 \cdot 10^7$	
отходы производства хромата калия	19	6	1,5	0,5	60	10	1	1	1	$4,5 \cdot 10^3$	
отходы производства сложного эфира целлюлозы	10	21	21	16	14	7	10	—	2	$2 \cdot 10^7$	
промежуточные отходы сельскохозяйственных изделий (азотная кислота)	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	$9 \cdot 10^6$	
отходы заводов, производящих сульфат аммония	—	—	4	—	—	—	—	96	—	$4,5 \cdot 10^3$	
отходы нефтеперерабатывающих заводов, содержащие медь и свинец	1	10,2	17,5	5,6	19	3,1	41,7	3,9	16	$4 \cdot 10^6$	
хромовый дубильный щелок	22	29	29	3	8,6	5	0,4	—	3	$9 \cdot 10^6$	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства зеркал	9	25	23	1	28	10	4	—	—	4·10 ⁸	
отходы холодной полировки	3	34	43	1	7	2	5	4	1	2·10 ⁹	
твердые отходы металлургических заводов	2	33	42	2	9	2	3	5	2	2·10 ⁸	
травильные растворы производства нержавеющей стали	5	25,9	40,4	2,6	6,8	5,5	4,4	2,8	6,7	2·10 ⁷	
отходы проката латуни	4	29	1	25	1	4	4	13	19	2·10 ⁷	
отходы при полировке металлов:	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	2·10 ⁷	Цианид- ный раствор Металли- ческие шламы
содержимое ванн для алюминированного анодирования	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	4·10 ⁸	
отходы латунных покрытий	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	Данных нет	
отходы кадмиевых покрытий	13,1	28,5	32,1	4,5	4,9	2,3	3,6	0,7	10,3	4,5·10 ⁵	
отходы хромовых покрытий	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	Данных нет	
отходы покрытий из цианида меди	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	9·10 ⁵	
сточные воды после полировки	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	Данных нет	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы при очистке металлов	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	То же	
отходы при приго- товлении покрытий	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	»	
отходы серебряных покрытий	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	»	
отходы цинковых по- крытий	11,5	17,9	37,9	4,6	5	1,5	3,6	1,1	16,9	»	
Хромовая кислота для полировки металлов	24,4	19,8	14,9	9,5	8,1	3,2	3,1	4,1	3,1	$2 \cdot 10^7$	
Полиграфические и фо- тографические отходы	6	19	20	8	15	6	9	13	4	$2 \cdot 10^3$	
Отходы производства электронных схем	14,3	34,2	17	3,7	5,3	1,9	3,2	3,9	16,5	$2 \cdot 10^5$	
Отходы авиационных по- крытий	12,3	15,8	11,7	9,3	5,7	1,3	9,5	1,9	32,5	$2 \cdot 10^7$	
Продувка градилен	0,5	15	17	6	—	58	—	3,5	—	$9 \cdot 10^6$	В виде хромата
Органические отходы:											
отходы производства метанола	—	—	5	—	5	—	90	—	—	$4,5 \cdot 10^5$	Шлам
отходы производства формальдегида	—	—	2	—	5	—	93	—	—	$4 \cdot 10^5$	»

Отходы	Содержание по географическим районам США φ , %									Объем, кг/год	Примечания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства бутадиена методом дегидрирования н-бутана	—	—	3	—	—	—	2	—	5	$1 \cdot 10^3$	Шлам
отходы производства резины	—	7	14	—	11	11	50	—	7	$4,5 \cdot 10^6$	
отходы бензольных гербицидов	16,8	13	0,9	—	44,7	—	—	—	24,6	$1 \cdot 10^3$	
отходы хлорированных алифатических гербицидов	19,6	6,2	2,7	—	64,9	—	1	5,7	—	$2 \cdot 10^3$	
отходы гербицидов на основе фенилмочевины	53,9	5,9	—	—	34,3	5,9	—	—	—	$9 \cdot 10^2$	
отходы фумигантов на основе хлорированных алифатических углеводородов	100	—	—	—	—	—	—	—	—	$9 \cdot 10^4$	
отходы фосфорорганических пестицидов	0,07	1,4	1	—	3,3	—	—	1,4	92,9	$4,5 \cdot 10^4$	
отходы феноксигербицидов	0,02	0,01	0,07	—	0,08	84,9	14,9	0,02	0,04	$4 \cdot 10^6$	
производство карбонатных пестицидов	—	—	—	0,6	84,8	—	—	—	14,5	$1 \cdot 10^3$	
отходы полихлорированных углеводородных пестицидов	9,7	14,2	1,8	0,3	9,6	0,4	3,3	1,7	59,1	$4,5 \cdot 10^4$	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Примечания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства смешанных органических пестицидов	—	2,6	1,2	0,2	25,7	—	—	—	70,2	$1 \cdot 10^4$	
загрязненные примесями и отработанные промышленные ракетные топлива и взрывчатые вещества	—	—	—	—	—	—	—	34,4	65,5	$1 \cdot 10^5$	
загрязняющие вещества и отходы производства основных взрывчатых веществ	—	9,6	0,1	89,8	—	0,1	—	0,3	0,1	$2 \cdot 10^6$	
нитроцеллюлозы — базового компонента ракетного топлива	—	4,1	—	45,7	49,2	—	—	0,9	—	$5 \cdot 10^6$	
загрязненные отходы взрывчатых веществ большой мощности	—	0,5	9,4	39,4	39,7	2,7	0,4	2,3	1,2	$5 \cdot 10^6$	
отходы загрязненных зажигательных веществ	—	—	—	—	—	—	100	—	—	$3 \cdot 10^5$	
производство нитроглицерина	—	—	—	—	42	19	—	—	39	$3 \cdot 10^5$	
твердые отходы старых капсул и детонаторов	—	0,5	43	45,4	0,1	0,6	—	8,4	1,4	$1 \cdot 10^5$	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства нитроцеллюлозных ра- кетных топлив и без- дымного пороха	—	6	4,6	38,7	47,7	—	0,6	2,5	—	3·10 ⁶	
отработанные взрывча- тые вещества больш- шой мощности	0,2	0,6	34,6	17,4	21,8	10,4	12,7	1	0,1	4,5·10 ⁶	
отработанные зажига- тельные вещества	—	1,4	0,2	0,2	—	—	71,8	0,9	25,5	4·10 ³	
отработанные нитро- целлюлоза и бездым- ный порох	—	—	—	—	—	—	—	40,6	59,4	9·10 ³	
отработанный нитро- глицерин	—	—	1	—	50	22	—	0,4	26,6	2·10 ³	
неутилизированные от- ходы полихлорирован- ных бифенилов	3,7	22,1	37,2	15,3	4	4,1	5,7	0,9	7,2	4·10 ⁶	
отходы присадок к бензину	0,6	8,6	15,9	5,5	2,5	2,5	47,7	3,3	13,4	2·10 ⁸	
остатки из регенерато- ров	4	12	20,5	8,1	13,5	8,2	13,9	4,4	15,5	1·10 ⁸	
неочищенные отходы установок для получе- ния кокса	2	33	41	1	7	2	6	6	2	4·10 ⁷	
содержащие мышьяк отходы оборонной промышленности	—	0,2	0,1	—	1,5	3,1	0,1	2,4	92,6	1·10 ⁶	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Примечания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
устаревший слезоточивый газ	—	13,8	18,9	—	2,2	4,4	25,2	14,4	20,9	$1 \cdot 10^6$	
Водные органические отходы:											
отходы производства диметилсульфата	—	— ²⁾	—	—	— ²⁾	—	—	—	—	$9 \cdot 10^4$	Кубовые остатки
ацетальдегид, полученный окислением этилена	1,5	17	15,6	4,7	15,6	11,1	26,5	2	6	$4 \cdot 10^7$	
остаток от производства этилендихлорида или винилхлорида	—	2,1	1,5	—	16,3	17,1	53,3	—	11,7	$9 \cdot 10^6$	
нитробензол из отходов резиновой промышленности	—	7	14	—	11	11	50	—	7	$2 \cdot 10^8$	Не представляют интереса, так как, по-видимому, слишком разбавлены
отходы производства лекарств	5,6	34,8	18,3	8,9	10	3,3	6	1,1	11,5	$2 \cdot 10^8$	
отходы производства хлорированных углеводородных пестицидов	11,5	14,8	13,6	7,3	14,1	5,7	9,3	5,4	18,3	$9 \cdot 10^7$	
отходы производства смешанных органических пестицидов	7,6	13,5	12,4	8	15,6	6,2	10,8	5,9	20	$2 \cdot 10^8$	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Примечания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства фосфорорганических пестицидов	11,5	14,8	13,6	7,3	14,1	5,7	9,3	5,4	18,3	$3 \cdot 10^7$	Такома, шт. Вашингтон
отходы производства органических пестицидов	11,5	14,8	13,6	7,3	14,1	5,7	9,3	5,4	18,3	$1 \cdot 10^8$	
отходы производства феноксигербицидов	7,6	13,5	12,4	8	15,6	6,2	10,8	5,9	20	$2 \cdot 10^7$	
Твердые отходы, шлам или суспензия:											
регенерированный мышьяк из рафинированных топлив, хранящихся на складах	—	—	—	—	—	—	—	—	100	$2 \cdot 10^7$	
отходы производства бихромата натрия	—	15	24,3	—	43,7	—	17	—	—	$1 \cdot 10^8$	По сухому остатку
пульпа битумной краски	4,4	24,3	26,9	7,2	10,3	4,1	6,9	1,2	14,7	$2 \cdot 10^7$	
пульпа клеевой краски	4,4	24,3	26,9	7,2	10,3	4,1	6,9	1,2	14,7	$1 \cdot 10^7$	
отходы производства тетраэтил- и тетраметилсвинца	—	—	—	—	—	—	63	—	37	$1 \cdot 10^5$	
отходы производства мочевины	—	5	9	18	9	15	29	—	14	$9 \cdot 10^4$	
загрязненные емкости из-под бензолных гербицидов	—	—	65,5	15,4	0,6	1,7	—	0,9	16	$9 \cdot 10^3$	

Стходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
загрязненные емкости из-под арсената каль- ция	3	2	8	7	16	16	35	9	3	$3 \cdot 10^3$	
загрязненные емкости из-под карбонатных пестицидов	0,08	1,6	38,7	7	2,2	10,8	32,1	7	6	$2 \cdot 10^3$	
загрязненные емкости из-под хлорированных алифатических пести- цидов	38,1	—	7,6	41,8	—	10,5	1	—	1	$4,5 \cdot 10^3$	
загрязненные емкости из-под динитропести- цидов	49,6	16,8	2,3	1,7	22,8	—	0,3	0,6	16,5	$9 \cdot 10^3$	
загрязненные емкости из-под арсената свин- ца	3	2	8	7	17	17	35	3	8	$4,5 \cdot 10^3$	
загрязненные емкости из-под ртутных фунги- цидов	2	3	4	3	28	32	5	1	22	$2 \cdot 10^3$	
загрязненные емкости из-под смешанных ор- ганических инсектици- дов	14,8	8,4	5,4	3,9	19,7	14,3	14,8	1,7	17	$2 \cdot 10^4$	
загрязненные емкости из-под мышьякорга- нических соединений	—	0,7	—	—	1,1	76,4	21,8	—	—	$2 \cdot 10^3$	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
загрязненные емкости из-под органических фунгицидов	4,8	12,5	4,7	2,8	44,1	0,1	3,6	0,7	26,6	$4 \cdot 10^4$	
загрязненные емкости из-под фосфорорганических соединений	4,3	5	1,8	12,5	13,9	19,2	17,5	4,9	20,8	$4,5 \cdot 10^4$	
загрязненные емкости из-под фенокисоединений	3,5	3,3	19,6	32,1	3,1	3	6,7	14,1	14,6	$9 \cdot 10^4$	
загрязненные емкости из-под фенилмочевины	10,6	8,5	10,6	3,3	10,6	42,4	4,2	0,3	9,5	$5 \cdot 10^3$	
загрязненные емкости из-под хлорированных углеводородов	1,7	10,7	1,9	13,8	30,6	21,1	13,3	2,4	4,4	$9 \cdot 10^4$	
загрязненные емкости из-под триазина	14,7	12,1	32	37,2	1,3	0,3	1,1	0,2	1,1	$3 \cdot 10^4$	
загрязненные емкости из-под смешанных органических пестицидов	1,4	16,2	38,5	6,8	16,2	12,3	4,1	1,4	3,4	$4,5 \cdot 10^3$	
кубовые остатки от очистки нефти	0,6	8,6	15,9	5,5	2,5	2,5	47,7	3,3	13,4	$9 \cdot 10^6$	
нефтяная отработанная рассольная пульпа	0,2	6	9	1,1	12	10	55	2,2	4,5	$2 \cdot 10^6$	
отработанный шлам при производстве железа	5	5	56	2	12	3	9	5	3	$3 \cdot 10^6$	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
трехокись мышьяка, выделяющаяся при плавке	—	3	1,5	7	0,5	1	10	70	7	9 · 10 ⁶	Северная часть шт. Нью-Йорк
отходы производства селена	—	75	—	—	—	—	—	25	—	9 · 10 ³	
отходы производства оборудования для копирования	—	100	—	—	—	—	—	—	—	3 · 10 ⁵	
отходы производства холодильного оборудования	1,3	23,2	40,8	9,6	4	6,9	8,6	1,1	4,5	9 · 10 ⁷	
отработанная пульпа при производстве аккумуляторов	11,7	4,3	—	11,8	11,7	—	—	11,8	—	2 · 10 ⁷	
выделяющийся из угля треххлористый мышьяк	5	23	7	5	33	25	—	7	—	3 · 10 ⁶	
парижская зелень для военных целей, хранящаяся на складе	—	—	100	—	—	—	—	—	—	1 · 10 ¹	
хранящиеся на складе соединения ртути для военных целей	47	—	—	51	—	—	—	—	2	9 · 10 ⁴	
Водные неорганические отходы:											
отходы при извлечении ртутной руды	—	—	—	—	—	—	—	28	72	Данных нет	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы при извлечении кадмиевой руды			Данных нет							9 · 10 ⁹	
отходы бумажной промышленности	11	11	19	4	23	8	10	3	11	Ничтожно малый	
отходы производства арсина	— ²⁾	— ²⁾	— ²⁾	—	—	— ²⁾	— ²⁾	—	— ²⁾	4,5 · 10 ³	
отходы производства боранов	—	100	—	—	—	—	—	—	—	Ничтожно малый	
отходы производства карбонила никеля	—	100	—	—	—	—	—	—	—	То же	
отработанный пентафторид брома	—	—	—	—	—	—	100	—	—	»	
отработанный пентафторид хлора	—	—	— ²⁾	—	—	—	— ⁴⁾	—	—	Ничтожно малый	
отработанный трифторид хлора	—	—	— ²⁾	—	—	—	— ²⁾	—	—	То же	
хроматные отходы от пигментов и красителей	1,5	17	15,6	4,7	15,6	11,1	26,5	2	6	4,5 · 10 ¹⁰	
содержащие мышьяк отходы от очистки фосфорной кислоты	1,5	17	15,6	4,7	15,6	11,1	26,5	2	6	Ничтожно малый	
загрязненный примесями фтор	0,7	10,1	16,6	7,5	14,7	20,7	14,7	5,4	9,6	То же	
отходы производства цианидов	0,7	10,1	16,6	7,5	14,7	20,7	14,7	5,4	9,6	9 · 10 ¹⁰	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства цианида ртути	—	100	—	—	—	—	—	—	—	Ничтожно малый	
отходы производства бариевых солей	0,7	10,1	16,6	7,5	14,7	20,7	14,7	5,4	9,6	То же	
отходы производства уретанов	4,6	12,1	10,1	1,8	40,4	18,2	10,1	—	2,7	$9 \cdot 10^{11}$	
отходы производства поликарбонатных полимеров	4,6	12,1	10,1	1,8	40,4	18,2	10,1	—	2,7	$9 \cdot 10^{11}$	
фармацевтические отходы, содержащие мышьяк	5,6	34,8	18,3	8,9	10	3,3	6	1,1	11,5	Ничтожно малый	
фармацевтические отходы, содержащие ртуть	5,6	34,8	18,3	8,9	10	3,3	6	1,1	11,5	То же	
отходы консервантов дерева	0,7	2,9	11,7	6	26,7	14,1	17,4	4,2	16,2	$9 \cdot 10^{10}$	
загрязненный примесями пентафторид сурьмы	—	— ²⁾	— ²⁾	—	—	—	— ²⁾	—	—	Ничтожно малый	
загрязненный примесями трифторид сурьмы	—	— ²⁾	— ²⁾	—	—	—	— ²⁾	—	—	То же	
отходы производства гидразина	— ²⁾	— ²⁾	—	—	— ²⁾	—	— ²⁾	—	—	Данных нет	

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства сельскохозяйственных химических препаратов	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	9 · 10 ¹¹	
содержащие мышьяк отходы сельскохозяйственных пестицидов	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	9 · 10 ¹¹	
отходы производства ртутных фунгицидов	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	9 · 10 ¹¹	
содержащие арсенаты отходы пестицидов	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	9 · 10 ¹¹	
содержащие мышьяк отходы пестицидов	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	9 · 10 ¹¹	
отходы производства пестицид-гербицидов, арсениты	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	9 · 10 ¹¹	
отходы от производства электрических плавких предохранителей	3,7	22,1	37,2	15,3	3,9	4	5,7	0,9	7,2	9 · 10 ¹¹	
отходы производства бериллиевых солей	—	100	—	—	—	—	—	—	—	Ничтожно малый	
отходы производства таллия	—	—	—	—	—	—	100	—	—	То же	
отходы ротогравюрных печатных пластин	10,5	44,6	32	5,1	1,9	—	2,8	—	3,1	4,5 · 10 ¹¹	Небольшое количество в Колорадо

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹ , %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
отходы производства компьютеров	14,3	34,2	17	3,7	5,3	1,9	3,2	3,9	16,5	4,5 · 10 ¹¹	
отходы производства электронно-лучевых трубок	14,3	34,2	17	3,7	5,3	1,9	3,2	3,9	16,5	Данных нет	
отходы производства магнитных лент	17,1	33,6	16,5	12	7,7	1,6	6	—	6	То же	
отходы производства аккумуляторных батарей	3	23,6	28,9	11,1	10,3	2,9	5,6	1,2	13,4	5 · 10 ¹¹	
отходы ртутных элементов	6	13,8	55,6	4,9	7,4	1,9	1,7	— ³⁾	— ³⁾	5 · 10 ¹¹	
Органические отходы — щелоки отработанных консервантов древесины	0,7	2,9	11,7	6	26,7	14,1	17,4	4,2	16,2	9 · 10 ¹¹	
Водные органические отходы:											
отходы производства синтетических волокон	4,6	12,1	10,1	1,8	40,4	18,2	10,1	—	2,7	9 · 10 ¹¹	
отходы производства красителей	1,5	17	15,6	4,7	15,6	11,1	26,5	2	6	4,5 · 10 ¹⁰	
отходы нитрильных пестицидов	0,5	7,5	14,5	7,4	29,9	20,7	9	4,6	5,8	9 · 10 ¹¹	
отходы электростанций										Данных нет	1 · 10 ⁷

Отходы	Содержание по географическим районам США ¹⁾ %									Объем, кг/год	Приме- чания
	НА	СА	СВЦ	СЗЦ	ЮА	ЮВЦ	ЮЗЦ	Г	З		
Твердые отходы, шламы или суспензии:											
сильно загрязненная примесями почва	—	—	—	—	—	—	—	100	—	$1 \cdot 10^9$	Хранится в Маунтин Асинел
негодные химические препараты, использовавшиеся для военных целей				Данных нет						$1 \cdot 10^5$	
взрывчатые вещества из артиллерийских орудий				То же						$2 \cdot 10^8$	
этиологические материалы коммерческого производства				»						$1 \cdot 10^1$	

1) НА — Новая Англия: Коннектикут, Мэн, Массачусетс, Нью-Гемпшир, Род-Айленд и Вермонт; СА — среднеатлантический район: Нью-Джерси, Нью-Йорк и Пенсильвания; СВЦ — северо-восточный центральный район: Иллинойс, Индиана, Мичиган, Огайо и Висконсин; СЗЦ — северо-западный центральный район: Айова, Канзас, Миннесота, Миссури, Небраска, Северная Дакота; ЮА — южноатлантический район: Целавэр, округ Колумбия, Флорида, Джорджия, Мэриленд, Северная Каролина, Южная Каролина, Вирджиния и Западная Вирджиния; ЮВЦ — юго-восточный центральный район: Алабама, Кентукки, Миссисипи и Теннесси; ЮЗЦ — юго-западный центральный район: Арканзас, Луизиана, Оклахома и Техас; Г — горный район: Аризона, Колорадо, Айдахо, Монтана, Невада, Нью-Мехико, Юта и Вайоминг; З — западный тихоокеанский район: Аляска, Калифорния, Гавайи, Орегон и Вашингтон.

2) Существует, однако количество неизвестно.

3) Общее процентное содержание для горного и тихоокеанского районов составляет 8,7.

**Т а б л и ц а 3.15. Используемые в настоящее время процессы обработки
и ликвидации опасных отходов [12]**

Процесс	Осуществляемые операции	Типы отходов ²	Формы отходов ³	Возможность регенерации
Физическая обработка:				
сорбция на угле	УО, Р	1, 3, 5, 4	Ж, Г	Да
диализ	УО, Р	1, 2, 3, 4	Ж	»
электродиализ	УО, Р	1, 2, 3, 4, 6	Ж	»
испарение	УО, Р	1, 2, 5	Ж	»
фильтрование	УО, Р	1, 2, 3, 4, 5	Ж, Г	»
флокуляция и отстаивание	УО, Р	1, 2, 3, 4, 5	Ж	»
обратный осмос	УО, Р	1, 2, 4, 6	Ж	»
отгонка с аммиаком	УО, Р	1, 2, 3, 4	Ж	»
Химическая обработка:				
кальцинирование	УО	1, 2, 5	Ж	»
ионный обмен	УО, Р, ОЯ	1, 2, 3, 4, 5	Ж	»
нейтрализация	ОЯ	1, 2, 3, 4	Ж	»
окисление	ОЯ	1, 2, 3, 4	Ж	»
осаждение	УО, Р	1, 2, 3, 4, 5	Ж	»
восстановление	ОЯ	1, 2	Ж	»
Термическая обработка:				
пиролиз	УО, ОЯ	3, 4, 6	Г, Ж, Г	Да
сжигание	ОЯ, Л	3, 5, 6, 7, 8	Г, Ж, Г	»
Биологическая обработка:				
активированные пульпы	ОЯ	3	Ж	Нет
азротенки	ОЯ	3	Ж	»
бассейны для стабилизации отходов	ОЯ	3	Ж	»
оросительные фильтры	ОЯ	3	Ж	»

Процесс	Осуществляемые операции ¹	Типы отходов ²	Формы отходов ³	Возможность регенерации
Ликвидация или хранение:				
нагнетание в глубокие колодцы	Л	1, 2, 3, 4, 6, 7	Ж	»
детонация	Л	6, 8	Т, Ж, Г	»
хранение в специально сооруженных хранилищах	Хр	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Т, Ж, Г	»
подземное захоронение	Л	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Т, Ж	Нет
выгрузка навалом в океан	Л	1, 2, 3, 4, 7, 8	Т, Ж, Г	»

¹ Операции: УО — уменьшение объема; Р — разделение; ОЯ — обезвреживание яда; Л — ликвидация; Хр — хранение.

² Типы отходов: 1 — неорганические химические без тяжелых металлов; 2 — неорганические химические с тяжелыми металлами; 3 — органические химические без тяжелых металлов; 4 — органические химические с тяжелыми металлами; 5 — радиологические; 6 — биологические; 7 — пожароопасные; 8 — взрывоопасные.

³ Формы отходов: Т — твердые; Ж — жидкие; Г — газообразные.

Таблица 3.16. Стоимость типичных процессов обработки опасных отходов¹ [12]

Процесс	Стоимость процесса производительно- стью 1000 л/сут, долл.	Капитальные затраты ² , тыс. долл.	Текущие расходы ³ за 1000 л, долл.
Химическое окисление цианидных отходов	94,8	400	19
Химическое восстановление хромовых отходов	159	340	7,65
Нейтрализация и осаждение	452	3000	13,20
Разделение жидкой и твердой фаз	452	9000	10,6
Сорбция на угле	452	510	2,64
Сжигание	67 *	4900	105 *

¹ Данные соответствуют типичному процессу среднего масштаба и оборудованию, способному переработать примерно 150 000 т/год или 600 т/сут.

² Капитальные затраты включают стоимость земли, зданий, полной переработки и вспомогательных устройств.

³ Текущие расходы включают стоимость химических реактивов для нейтрализации, заработную плату, коммунальные услуги, техническое обслуживание, расходы на амортизацию (7% прироста), страхование, налоги, административные расходы.

* Доллары за 1 т.

3.5.1. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Свинец. Отравление свинцом ведет к нарушению функций головного мозга, особенно у детей, и, кроме того, под его воздействием у людей всех возрастов ослабевает сопротивляемость организма инфекции. Свинец выделяется из свинцовых водопроводных труб и попадает в пищу через питьевую воду. Источником заболевания может также стать свинцовая краска, которая служит для окраски зданий (разборка старых сооружений). Поэтому захоронение в землю мусора, содержащего металлический свинец, может оказаться потенциально опасным, если щелок, образующийся в результате выщелачивания отходов, проникнет в грунтовые воды, которые питают водопроводную систему.

Ртуть. Металлическая ртуть является настолько ценным продуктом, что маловероятно, чтобы она присутствовала в твердых отходах в какой-либо концентрации. Однако органические и неорганические соединения ртути применяются широко и могут присутствовать в промышленных и сельскохозяйственных отходах. Все соединения ртути оказывают сильное отравляющее действие на людей и животных, приводя к серьезным психическим и двигательным, неврологическим расстройствам, нарушению деятельности почек, желудочно-кишечным и легочным заболеваниям, а также к генетическим изменениям.

Бериллий. Бериллий — это металл с низкой плотностью, используемый во многих отраслях промышленности, главным образом в форме сплавов и в качестве ракетного топлива в чистом виде. При попадании в организм в виде атмосферных частиц бериллий вызывает серьезное заболевание, включая раздражение дыхательных путей, дерматит и конъюнктивит. Возможно, что он действует и на другие органы. При хронической форме этого заболевания смертность составляет 35%.

Марганец. Марганец применяют, в основном, в качестве легирующего компонента в сталях. Вдыхание окислов марганца может вызвать хроническое марганцевое отравление или марганцовистую пневмонию.

3.5.2. ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Бензопирен и бензофторантен. 3,4-бензопирен и 3,4-бензофторантен образуются в результате нагревания органических веществ до температур выше 500°C при сжигании отходов или в ходе других процессов. Доказано, что эти углеводороды обладают канцерогенными свойствами по отношению к животным. Они были обнаружены в почвах, удобренных шламами газоочистки дымовых газов, и в корнеплодах (картофеле, моркови, редисе и т. д.), выращенных на таких почвах.

ДЭГФ. Ди-2-этилгексилфталат (ДЭГФ) применяют в качестве пластификатора для поливинилхлоридной упаковки. Он оказывает токсичное действие на людей и животных. Подозревают, что смерть

пациентов, которым переливали кровь, хранившуюся в поливинилхлоридных пакетах, была вызвана этим пластификатором, перешедшим из упаковки в кровь. Переработку и ликвидацию больших количеств отходов ДЭФ следует проводить со строгими мерами предосторожности.

ПХД. Полихлорированные дифенилы раньше применяли для получения безуглеродной копировальной бумаги. Небольшая часть ПХД входила в состав форзацной бумаги, употребляемой для упаковки продуктов. С последними ПХД попадали в измеряемых количествах в организм человека. ПХД или родственный им загрязнитель — дибензофуран — вызывает нарушения деятельности печени и ее повреждение, сильные кожные сыпи и гидроперикард.

Полимерные волокна и пенополиуретаны. Сжигание на открытом воздухе некоторых полимерных волокон, таких, как орлон, и пенистых пластмасс, например полиуретана, может привести к образованию потенциально токсичных концентраций синильной кислоты.

3.6. ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И ТРАВМАТИЗМ СРЕДИ РАБОЧИХ, ЗАНЯТЫХ УБОРКОЙ ТЕРРИТОРИЙ

Опубликованный Департаментом общественного здравоохранения в 1966 г. обзор показал, что среди компаний, осуществляющих надзор над производственными травмами рабочих, занятых уборкой территорий, среднее число несчастных случаев с потерей трудоспособности на миллион человеко-часов составляет 156, что в 4,25 раза превышает наивысшее количество травм (36,71 для угольной промышленности) в любой крупной отрасли промышленности.

Однако долгое время ошибочно считали, что не существует особых проблем, связанных с опасностью для здоровья людей, занятых уборкой территорий. Объясняется это, в частности, тем, что рабочие, занятые переработкой твердых отходов, часто имеют невысокий уровень образования и низкую заработную плату и, как правило, работают по кратковременному найму. Поэтому при заболевании или при получении травмы они часто бросают работу. В табл. 3.17 и 3.18 приведены данные, характеризующие травматизм среди рабочих, занятых уборкой территорий, для двух городов США (зарегистрированные случаи). Приведенные в том же самом обзоре данные свидетельствуют о том, что заболеваемость среди рабочих, занятых уборкой территорий, находится на среднем уровне (или ниже среднего) заболеваемости по промышленности в целом. Отмечается, что рабочие, занимающиеся удалением отходов в ФРГ, удивительно невосприимчивы к инфекционным болезням, в то время как дворники часто болеют токсоплазмозом. Кроме того, среди дворников и других рабочих встречается кожная скрытая миграция — форма дерматита, характеризующаяся повреждениями кожи, которые указывают на миграционные пути передвижения скрытых паразитов. В качестве профессиональной эта болезнь наиболее типична для водопроводчиков, электриков и строительных

Таблица 3.17. Данные о травматизме среди рабочих, занятых уборкой территорий [13]

Случаи	1957		1958		1959		1960		1961		1962		1963		1964		1965		Итоговая сумма, 1957--1965			Частота травм	Частота травм с потерей трудоспособности	Степень тяжести
	ЧГ ¹	ПВ ²	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ТП ³	ПВ			
Город 1																								
А	1	6	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	6	2	30	2	23	9	6	65	500	333	3 610
Б	2	2	1	45	1	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	3	117	667	500	19 500
В	1	6	0	0	0	0	1	137	2	18	—	—	—	—	—	—	—	—	4	3	156	400	300	15 600
Г	1	4	0	0	1	0	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	2	22	222	111	1 220
Д	—	—	2	28	1	58	3	160	0	0	1	0	1	0	—	—	—	—	8	4	244	668	334	20 300
Е	—	—	1	91	0	0	1	5	0	0	0	0	1	0	1	0	—	—	4	2	96	286	143	6 850
Ж	—	—	1	45	1	7	1	1	0	0	1	28	—	—	—	—	—	—	4	4	81	400	400	8 100
З	—	—	—	—	—	—	—	—	1	14	1	19	—	—	—	—	—	—	2	2	19	500	500	4 750
И	—	—	—	—	—	—	—	—	2	77	0	0	0	0	2	14	1	0	5	3	91	500	300	9 100
К	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	0	2	12	—	—	3	2	12	750	500	3 000
Л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	77	1	5	3	3	87	750	750	20 500
Город 2																								
А	—	—	—	—	—	—	—	—	1	5	2	19	—	—	—	—	—	—	3	3	24	750	750	4 920
Б	—	—	—	—	—	—	—	—	1	10	1	25	0	0	1	0	—	—	3	2	35	360	240	4 400
В	—	—	—	—	—	—	—	—	2	8	0	0	0	0	2	24	—	—	4	3	32	480	360	4 020
Г	—	—	—	—	—	—	—	—	1	49	2	1	1	7	—	—	—	—	4	3	57	667	500	9 500

Случаи	1957		1958		1959		1960		1961		1962		1963		1964		1965		Итоговая сумма 1957—1965			Частота травм	Частота травм с потерей трудоспособности	Степень тяжести
	ЧТ ¹	ПВ ²	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	П	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ПВ	ЧТ	ТПТ ³	ПВ			
Д	—	—	—	—	—	—	—	—	1	18	1	9	2	11	2	17			6	4	55	720	480	6 910
Е	—	—	—	—	—	—	—	—	1	14	0	0	1	10			2	2	2	2	24	334	334	4 000
Ж	—	—	—	—	—	—	—	—	1	11	2	47	0	0	1	5	4	4	4	4	63	480	480	7 920
З	—	—	—	—	—	—	—	—	1	10	2	20	0	0	1	6	4	4	4	4	36	480	480	4 530
И	—	—	—	—	—	—	—	—	1	10	1	8	2	29			4	4	4	4	47	667	667	7 850
К	—	—	—	—	—	—	—	—	1	23	2	9	—	—			3	3	3	3	32	750	750	6 570
Л	—	—	—	—	—	—	—	—	1	40	0	0	0	0	1	62	2	2	2	2	102	240	240	12 800
М	—	—	—	—	—	—	—	—	1	8	2	20	0	0	1	2	4	4	4	4	30	480	480	3 780
Н	—	—	—	—	—	—	—	—	1	12	1	0	2	1			4	2	4	2	13	667	334	2 330
О	—	—	—	—	—	—	—	—	1	12	2	38	2	8			5	3	5	3	58	835	500	9 680
П	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	22	3	28			5	5	5	5	50	1250	1250	12 500

¹ ЧТ — число травм.² ПВ — потеря рабочего времени, сут.³ ТПТ — число травм с потерей трудоспособности.

Таблица 3.18. Анализ данных по травматизму за 1964 г. [13]

Позиция	Город 1	Город 2
Число служащих	23	60
Число травмированных служащих:		
один раз	11 (48%)	44 (73%)
два раза	6 (26%)	29 (48%)
три раза	5 (22%)	10 (17%)
		5 (8%)
Общее число травм	348	532
Общее количество потерянного времени за счет травм	12	36
Частота травм с потерей трудоспособности	252	300
Общее количество потерянного времени	216	334
Степень тяжести травм ¹	4700	2780

¹ Степень тяжести травм — это число потерянных дней на 1 млн. чел.-ч.

рабочих, которым по долгу службы приходится соприкасаться с влажной или мокрой почвой, загрязненной фекалиями кошек или собак. Единственной практической предупредительной мерой является исключение контакта с зараженной почвой или водой.

Профессиональные микозы — грибковые инфекции (кокцидиомикоз, споротрихоз, гистоплазмоз) — также поражают рабочих, которые имеют дело с определенными типами отходов. В результате соприкосновения с пометом цыплят можно очень легко заболеть гистоплазмозом. Криптококкос — заболевание, вызванное грибом, переносимым в помете голубей, и им, в первую очередь, могут заболеть рабочие, занимающиеся разборкой зданий. Несколько смертельных случаев были обусловлены этим видом микоза.

3.7. ВТОРИЧНЫЕ ОПАСНОСТИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ТВЕРДЫМИ ОТХОДАМИ

Выброшенные отходы либо сразу же помещают в контейнер, либо они попадают в него через мусоропровод; затем, как правило, отходы перевозят на автомобиле или в исходном или в другом крупном контейнере; после этого возможна стадия переработки, такая, как сжигание, прессование, измельчение или регенерация, и, наконец, так называемой стадией конечной ликвидации (если процесс не циклический) должно быть возвращение в окружающую среду в твердой, жидкой или газообразной форме.

При выполнении этих операций нетоксичные отходы могут стать ядовитыми, стерильные отходы могут оказаться переносчиком инфекции, невзрывоопасные отходы могут вызвать взрывы, а отходы, которые были безопасными с точки зрения травматизма, могут на самом деле нанести травму или даже вызвать смерть.

3.7.1. ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ

При хранении в тепле за несколько часов такое стерильное органическое вещество, как вареное мясо, может в принципе стать смертельным источником токсичных или болезнетворных организмов. Эти организмы не обязательно должны первоначально присутствовать в исходном органическом материале, потому что в окру-

Таблица 3.19. Болезни, переносимые мухами, комарами и грызунами

Мухи	Комары	Грызуны
Тифоид	Лихорадка Денге	Эхиностомиаз
Бактериальная дизентерия	Энцефалит	Геморрагическая септицемия
Амебная дизентерия	Филариоз	Гистоплазмоз
Диарея	Малярия	Лимфатический хориоменингит
Азиатская холера	Желтая лихорадка	Чума
Заболевания, вызванные кишечными паразитами	Туляремия	Болезнь укуса крыс
Миаз	Лимфатический хориоменингит	Дерматит крысиного клеща
Лоиоз	Мелиоидоз	Заражение крысиным солитером
Онхоцерциоз	Лихорадка Рифта	Лихорадка Скалистых гор в США
Филариоз Оззарда	Валлея	Вирусная инфекция слюнных желез
Лейшманиоз		Сальмонеллез
Африканская сонная болезнь (трипаносомиаз)		Схистосомиаз
Туляремия		Билхарзиоз
Бартонеллез		Споротрихоз
Конъюнктивит Карар-рхала		Свинная рожа
Лихорадка паппатачи		Трихинеллез
		Лептоспироз
		Лейшманиоз
		Туляремия
		Рикетсиальная оспа
		Мышиный тиф

жающей среде обычно находится большое количество спор, бактерий, вирусов, насекомых, паразитов и других переносчиков инфекции, ожидающих благоприятного места для размножения.

Простого присутствия этих культур потенциально болезнетворных организмов в твердых отходах еще недостаточно для того, чтобы они стали опасными для здоровья людей. Переносят болезни в основном мухи, комары и грызуны (табл. 3.19). Установлено, что 90% комнатных мух в городе размножаются в содержимом открытых мусорных баков. Крысы также питаются легкодоступными пищевыми отходами. Поэтому необходимо органические отходы содержать в закрытых контейнерах.

Существуют альтернативные формы переработки отходов, которые в определенных случаях имеют практическое значение. Одна из них — это уплотнение. При этом устраняется большинство расщелин и пустот, в которых насекомые предпочитают откладывать яйца, значительно уменьшается доступная для них площадь поверхности. Кроме того, при уплотнении из отходов отжимается большая часть жидкости, в результате чего поверхность становится сухой или, что чаще, равномерно влажной без локальных зон с высокой концентрацией органических веществ, которая необходима для выведения личинок мух.

Менее подходящим является второй способ, который заключается в том, что обработка отходов производится в течение первых двух дней с момента их выброса, в результате чего личинки мух не успевают вылупиться (на это требуется 2—3 дня). Однако если герметичность контейнеров недостаточна, то крысы могут питаться такими отходами, и в настоящее время единственным приемлемым методом обработки является такой, при котором грызунам преграждается доступ к пище.

Третий способ обработки, на первый взгляд, противоречит первому, так как он включает измельчение твердых отходов. При измельчении увеличивается площадь поверхности и уменьшается плотность. Если измельченный мусор не содержится в закрытых контейнерах и если толщина слоя отходов не превышает 0,9 м, то достаточное количество воздуха может проникнуть во всю массу отходов, в результате чего начинают энергично расти аэробные, а не анаэробные бактерии. Эти бактерии действуют гораздо быстрее, чем анаэробные, и выделяют тепло, поскольку они являются термофильными. Тщательно контролируемые опыты показали, что насекомые не выводятся на аэробно разлагающемся мусоре. Кроме того, такой материал также не привлекает крыс и других паразитов. Скорость возможного продвижения воздуха внутри такой массы мала, и поэтому имеется тенденция к тлению, а не к горению. Так как большая часть смертельных случаев в результате пожаров обусловлена отравлением дымом, а не ожогами, то измельчение мусора можно рассматривать как приемлемый способ уменьшения многих из вторичных опасностей для здоровья людей, поскольку измельченные отходы не хранят внутри или на огражденных участках, где люди могли бы оказаться отрезанными во время пожара.

3.7.2. ПОЖАРЫ И ВЗРЫВЫ

Существует очень большая опасность возникновения пожара для многих категорий необработанных твердых отходов просто потому, что большая часть материала представляет собой отходы бумаги, древесины или пластмассы. Вероятность загорания таких отходов из-за неосторожно выброшенных дымящихся материалов очень высока. Однако в больших скоплениях органических материалов может произойти самопроизвольное возгорание.

Самопроизвольное возгорание. Когда органические материалы разлагаются под действием аэробных бактерий и выделяемое при этом тепло не отводится, температура массы повышается и начинается спонтанное горение. Тепловая изоляция, как правило, обеспечивает соседней массой не реагирующего материала, так что по аналогии с ядерной реакцией существует «критическая» масса органического материала.

К самопроизвольному возгоранию склонны сельскохозяйственные материалы (сено), уголь и другое тонкоизмельченное топливо (древесные щепки и опилки). Современным примером, подчеркивающим необходимость избегать скоплений больших масс любых материалов, имеющих склонность к возгоранию, является сплавление сваленной на складе под открытым небом в кучу стальной стружки, предназначенной для регенерации. Стружка была смочена маслом, применяемым при токарной обработке металлов. Заводской инспектор утверждал, что внутри куча раскалилась до красна, а впоследствии после охлаждения образовалась твердая масса. Образовавшуюся толстую пирамидальную глыбу оказалось невозможным разрезать паяльной лампой, и все другие попытки уменьшить ее до транспортабельных размеров окончились неудачей.

Для устранения самопроизвольного возгорания всех типов твердых отходов нельзя дать общих рекомендаций. Просто необходимо избегать хранения твердых отходов в теплых влажных условиях в течение нескольких дней, когда минимальный размер массы мусора превышает 2—3 м. Меньшие количества отходов, очень сухие или очень влажные условия хранения — все это ингибиторы самопроизвольного возгорания.

Взрывы. Совершенно очевидно, что такие взрывчатые материалы, как боевые патроны, имеют большую склонность к детонации при транспортировке и обработке смешанных твердых отходов. Однако менее хорошо известно, что при скоплении в больших количествах безвредные материалы могут при определенных обстоятельствах взорваться. Например, взрывы в установке для сжигания отходов явились результатом загрузки в печь больших количеств пластмассовых отходов. По всей видимости, смесь газообразных продуктов пиролиза с имеющимся кислородом достигла взрывоопасных концентраций. Образование газа в результате анаэробного разложения органических отходов может также при определенных обстоятельствах привести к возникновению взрывоопасных смесей.

3.7.3. ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗА

Основным газообразным продуктом анаэробного разложения органических отходов является метан (CH_4), при этом выделяются и другие газы (CO_2 , N_2 , H_2S). Захороненные в землю отходы подвергаются преимущественно анаэробному разложению, и газы, как правило, находят самый короткий и самый легкий путь к поверхности. Иногда присутствие трещин в самом могильнике или в окружающей его земле, по всей видимости, наряду с поверхностным барьером, таким, например, как автострада или автомобильная стоянка, может привести к горизонтальному продвижению газов на большие расстояния. В некоторых случаях эти газы проникали в подвалы домов и строений и вызывали смертельные случаи и травмы (удушение, отравление или поражения взрывами воздушно-метановых смесей).

Согласно санитарным правилам, подземные могильники должны быть снабжены каналами, по которым выделяемые газы можно было бы направить в безопасное место. Строительные нормы для зданий, сооружаемых вблизи новых или старых подземных захоронений, как правило, требуют соблюдения особо строгих стандартов при сооружении непроницаемых подвалов, герметизированных и вентилируемых подземных служб.

3.7.4. ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ОТХОДОВ

В процессе разложения из органических отходов, как правило, выделяется жидкость, которую вызывают щелоком. В могильниках часть этой жидкости образуется из отходов под воздействием давления на верхнюю часть пласта. Другим основным компонентом щелока является дождевая вода, которая при прохождении через могильник растворяет большинство материалов. Щелок может выделяться из могильника, имея БПК свыше 20 000 мг/л, что примерно в 100 раз больше, чем для необработанных сточных вод. Санитарные правила захоронения отходов предусматривают улавливание всего щелока и последующую его переработку обычными методами, используемыми для сточных вод, или другими эквивалентными способами. Исследования показали, что концентрация щелока из могильника может оставаться все еще значительной даже через 20 лет.

3.8: МЕСТА, ОПАСНЫЕ ПРИ РАБОТЕ С ТВЕРДЫМИ ОТХОДАМИ

Мусорные корзины. Мусорные корзины опустошают каждый день или раз в два дня, так что особых проблем, связанных с разведением в них мух и размножением нежелательных бактерий, обычно не возникает. Основными опасностями являются пожары, возникающие в мусорных корзинах, и травмы персонала, выбрасывающего из них мусор.

В мусорных корзинах содержится, главным образом, бумага. Поэтому их содержимое обычно легко воспламеняется. Так как в

мусорные корзины часто выкидывают пепел, а также окурки и остатки табака из трубок, спички и израсходованные баллоны из зажигалок, то любой из этих материалов, находящихся в тлеющем состоянии, может относительно легко вызвать загорание содержимого мусорных корзин. Мусорные корзины часто спрятаны за занавесками и портьерами или закрыты обитой мебелью, в результате чего опасность пожара, как правило, исключительно велика.

Некоторые очевидные способы контроля таковы: ограничение курения внутри зданий, расположение на полу вблизи каждой мусорной корзины больших пепельниц или применение для отходов одного из многочисленных типов самозакрывающихся контейнеров.

Опасность для персонала, занимающегося опустошением мусорных корзин, возникает преимущественно в результате легкомысленного выбрасывания в корзины опасных материалов, например бутылей, наполовину заполненных сильными кислотами, а также бывших в употреблении ножиц, использованных для проведения экспериментов на животных.

Устранить возникающие в этих случаях проблемы можно двумя способами. Один из них — это ознакомление персонала с опасностями, связанными с присутствующими в потоке отходов вредными веществами и предметами, и обучение приемам пересыпки мусора из корзин непосредственно в приемные контейнеры. Второй способ — это издание законов, которые устанавливают юридическую ответственность за ущерб, причиненный в результате выбрасывания в обычные отходы запрещенных материалов.

Мусоропроводы. Существует мнение, что на стадии проектирования зданий, больших или малых, архитекторы редко рассматривают вопросы, связанные с транспортировкой мусора. Мусоропроводы, несомненно, значительно сокращают расходы на транспортировку мусора и тем самым уменьшают некоторые сопутствующие опасности. Однако при использовании мусоропроводов возникают некоторые другие проблемы, например, исключительная пожароопасность, если мусоропроводы сконструированы без соответствующих сифонов, которые препятствуют его действию как дымовой трубы, и если материалы и конструкция мусоропровода недостаточно огнеупорны. Строительные правила в большинстве городов США требуют обязательного использования пожарных сифонов.

Уплотнители. Уплотнители сконструированы таким образом, что они выдерживают высокие нагрузки и давления на отходы. Поэтому они могут выдержать незначительные взрывы, например баллонов с газобразным топливом. Как правило, при уплотнении пожары удается загасить. Однако относительно часто пожары возникают в грузовиках, в которых собирают и уплотняют отходы. Это, может, в частности, произойти в начале процесса сбора, когда в грузовики загружают горячую золу. Согласно установленным инструкциям, экипаж машины должен сбросить горящие отходы на дорогу, принимая, конечно, меры для беспрепятственного движения транспорта. Пожарникам легче погасить горящий мусор, чем взорвавшийся бензин.

Другие опасности, связанные с уплотнителями, возникают в процессе ручной погрузки. Большинство стационарных уплотнителей имеют блокирующие приспособления для того, чтобы устройство для уплотнения, обычно рама, а иногда шнек, было закрыто до проведения операции. Несчастные случаи с шоферами грузовиков по сбору мусора довольно часто происходят вследствие взрывов телевизионных трубок или при внезапном распрямлении стальных кусков, когда их вдвое сжимают, а затем вынимают из механизма.

Контейнеры. Термин «контейнер» обычно относится к емкостям с объемами большими, чем объемы мусорных корзин или пепельниц; контейнеры, как правило, вмещают от 0,8 до 23 м³. Однако для контейнеров сохраняется большая часть опасностей, характерных для мусорных корзин и бачков, например, пожары, присутствие опасных материалов и возможность размножения насекомых и паразитов. Кроме того, хранение больших объемов мусора в компактной массе способствует биологическому разложению, которое может привести к самопроизвольному возгоранию отходов при условии совокупного воздействия влаги, тепла и топлива.

Установки для сжигания отходов. Небольшие установки для сжигания мусора, выпускаемые для многоквартирных домов и торговых учреждений, были запрещены во многих городах из-за выделения загрязняющих веществ из дымовой трубы. Более крупные установки (производительностью от 50 до 3000 т/сут) имеют, как правило, площадку для разгрузки отходов; бункер для хранения отходов или горизонтальные конвейеры для подачи мусора в печь; мостовой кран; одну или несколько печей; оборудование для золоулавливания; газоочистное устройство и дымовую трубу. Такая установка обладает всеми характеристиками промышленной технологической установки. Для нее не исключается опасность взрывов за счет взрывчатых материалов или пластмасс в высоких концентрациях. При сжигании некоторых типов пластмасс, особенно уретанов и винилов, выделяются ядовитые газы, однако вследствие пониженного давления, которое, как правило, поддерживается в печах, опасность для обслуживающего персонала обычно невелика.

Измельчители. Твердые отходы все в большей степени подвергают измельчению, причем наиболее популярным устройством является молотковая дробилка. Отдельные дробилки характеризуются производительностью от 0,5 до 50 т/ч. Данных о несчастных случаях при работе с дробилками не было опубликовано, хотя пожары и взрывы иногда случаются. Прочность конструкции измельчителей позволяет выдерживать любой, даже самый сильный взрыв.

Перевалочные станции. Перевалочная станция представляет собой место, где твердые отходы без какой-либо переработки перегружают из транспортных средств для сбора отходов в транспортные средства для перемещения на большие расстояния. Как правило, это грузовики большой вместимости, предназначенные для движения по автострадам, иногда с прицепами; в некоторых случаях используют железнодорожные вагоны и баржи. Частью

операций, осуществляемых на перевалочной станции, является уплотнение или измельчение твердых отходов. В этом случае могут возникать описанные уже опасности.

Установки для регенерации отходов. Грубая форма регенерации применяется на многих городских свалках уполномоченным и неуполномоченным персоналом, перебирающим мусор, чтобы отыскать возможно ценные предметы. Эта работа сопряжена с исключительно большим риском из-за опасной природы мусорной свалки и трудности извлечения из нее требуемых предметов. Кроме того, грузовики могут нанести увечья в момент выгрузки грузов. Мусорные свалки и могильники должны быть ограждены и охраняться, чтобы предотвратить утечку мусора, причем основания для таких ограничений должны быть четко сформулированы.

В первые десятилетия нынешнего века процесс регенерации осуществлялся путем выгрузки мусора на конвейеры и последующего пропускания его через так называемые отборочные станции, где специальный персонал занимался сортировкой предметов по категориям (газеты, гофрированный картон, бутылки и т. д.). Работа эта сопряжена с очевидными опасностями и для ее выполнения можно было привлечь низкоквалифицированный персонал.

В настоящее время разрабатываются автоматические установки для регенерации мусора, и в одном или двух случаях такие установки уже действуют. Они характеризуются, главным образом, отсутствием контакта человека с отходами и использованием усовершенствованных контрольных систем и защитных устройств.

Могильники. Опасности, возникающие в результате неправильного захоронения отходов, были обсуждены выше, и они включают: пожары, образование газов, приводящих к пожарам, удушью людей и взрывам в зданиях; выщелачивание, сопряженное с загрязнением водного бассейна; размножение крыс и насекомых, являющихся переносчиками инфекций; раскидывание отходов, а следовательно, возможность травм. Из указанных категорий образование газов и щелоков, а также распространение подземных пожаров, которые могут продолжаться 20 лет и больше, вызывают наибольшее беспокойство. Между тем этого можно легко избежать путем захоронения отходов с соблюдением одной из нескольких модифицированных методик. При обычном захоронении предотвратить эти опасности исключительно трудно, если вообще возможно. Например, с помощью современных инфракрасных измерений можно выявить со значительной степенью точности место, где тлеет подземный пожар, однако потушить его практически невозможно. Пещера, остающаяся после подземного пожара, может впоследствии вызвать неожиданное разрушение поверхности, что опасно для людей и любых зданий, которые были сооружены без достаточных предосторожностей.

3.9. ОПАСНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ УДОБРЕНИИ ПОЧВ КАНАЛИЗАЦИОННЫМИ ОТХОДАМИ И СБРОСЕ ИХ В ЗЕМЛЮ

Современные исследования, проведенные в университете города Торонто, показали, что в канализационных отходах, используемых в качестве удобрений для пищевых культур, присутствует устрашающее количество кадмия и свинца. Эти металлы могут быть усвоены сельскохозяйственными культурами в количествах, опасных для здоровья людей и животных. Медицинские исследования указывают на связь между кадмием и гипертоническими, сердечно-сосудистыми и дыхательными болезнями. Свинец может привести к нарушению деятельности головного мозга или к смерти.

Современное исследование, проведенное в ФРГ, также показало, что за последние несколько лет количество патогенов в необработанных канализационных отходах не уменьшилось и даже было отмечено возросшее число случаев заболевания гепатитом, сальмонеллезом и бычьим цистеркозом.

Существуют значительные разногласия относительно того, в какой степени аэробный компост высокого качества (см. гл. 7) убивает болезнетворные бактерии, присутствующие в питательном материале (особенно в канализационных отходах и, если он применяется, то в бытовом мусоре). Одна точка зрения, данная в статье, опубликованной в 1974 г. в ФРГ, заключается в том, что при повышении температуры до 70°C все болезнетворные микробы за неделю погибают. В другой статье того же года (ФРГ) утверждается, что температура от 65 до 70°C, при которой, как правило, происходит процесс компостирования, недостаточно высока, чтобы уничтожить все болезнетворные микробы, вирусы, бактерии и бациллы, находящиеся в мусоре и канализационных отходах. Однако исследования процесса разложения на заводах по производству компоста показали, что могут образовываться микробиологические вещества, действующие как антибиотики, которые убивают даже теплоустойчивые болезнетворные микробы. Эти антибиотики, очевидно, эффективно работают после первоначального процесса компостирования, длящегося обычно от 3 до 7 сут, в ходе так называемого процесса выдерживания. При этом компост хранят в штабелях, часто в открытых, в течение 3 мес. Прежде этот процесс считался вспомогательным, однако в связи с полученными данными он приобретает первостепенное значение.

При использовании канализационных отходов для полива полей процесс выдерживания отсутствует. Было найдено, что энтеровирусы попадают в почву и загрязняют растущие в ней овощи.

Паразиты могут также быть разнесены из канализационных отходов. Инфекция, вызываемая крючкообразным глистом, распространенная почти во всем мире, была уменьшена до ничтожно малой степени в большинстве стран Европы и США. Однако проведенные Агентством охраны среды в 1971 г. проверки показали, что два из пяти образцов маркированного компоста содержали яйца и личинки тельминтов. Эти результаты имеют большое значение при

использовании таких компостов в районах, где люди ходят босиком. Личинки проникают через кожу, проходят печень и накапливаются в легких. Предполагается, что кишечный аскарид ухудшает аппетит и может вызвать дизентерию. Заражение крючкообразным глистом вызывает анемический синдром. Заражение стронгилоидами имеет мягкую форму — катаральный энтерит со слизистыми выделениями, промежуточные формы — отечный энтерит и тяжелые формы — язвенный энтерит. Синдром висцеральной миграции личинок крупного солитера и аскарида наблюдается у детей в возрасте от одного до четырех лет, евших грязную пищу.

Фекальными отходами людей могут быть обусловлены следующие болезни: бактериальные инфекции — тифоидная лихорадка, паратиф, холера, шигеллез (бациллярная дизентерия); вирусные инфекции — полиомиелит, вирусы Коксаки, инфекционный гепатит (существует много других кишечных вирусов); протозоальные инфекции — гистолитическая амебная дизентерия; гельминтозы — солитеры рыбный, бычий и свиной, острица, червеобразная аскарида, власоглав человеческий, крючкообразный глист.

Болезни, обусловленные фекальными отходами животных, таковы: сальмонеллез; инфекции от кишечного протозоа свиней (паразитирующая инфузория); гельминтозы: свиной глист, ленточные глисты животных и гидатидный червь.

3.10. ОПАСНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАХОРОНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ В МОРЕ

Не имеется четких данных, за исключением нескольких специфических случаев, относительно опасностей, связанных с выбросом в море твердых отходов и жидких отбросов. Эти случаи, включающие ДДТ, нефть, ртуть и бактерии из канализационных отходов, взволновали и сделали бдительными общественные и законодательные организации, в результате чего выброс в море некоторых опасных или возможно опасных материалов был запрещен. Например, с 1967 г. радиоактивные материалы не могут быть захоронены в водах США. Был также запрещен не только выброс, но и использование ДДТ. Выгрузка или выброс других потенциально токсичных или вызывающих травмы материалов были уменьшены правилами или законодательством.

Так как США является одной из крупнейших в мире промышленных держав, то регулирование выброса в море опасных отходов этой страны привело бы к общему уменьшению загрязнения в мировом масштабе и послужило бы примером для последующего мирового сотрудничества.

Выброс твердых отходов в море описывается в гл. 9. В этом разделе будут кратко описаны основные опасные ситуации и обнаруживаемые материалы.

Металлы. Основные потенциально опасные металлы — это мышьяк, кадмий, хром, кобальт, медь, железо, свинец, марганец, ртуть, никель, серебро и цинк.

Ртуть, выброшенная в море химическим заводом в Японии, попала в организм рыб, выловленных местными жителями. В результате многие жители стали инвалидами, были также и смертельные случаи.

Канализационные отходы содержат металлы в количествах, которые могут оказаться токсичными для морских обитателей, если шламы накапливаются, а не рассеиваются. Некоторые металлы, такие, как свинец и медь, растворяются из водопроводных труб; другие, например железо и свинец, попадают в комбинированную канализационную систему вместе со стоками с автострад; ртуть может оказаться в канализации после ее использования в качестве садового фунгицида, а такие металлы, как кадмий, серебро и цинк, сбрасываются в канализацию промышленными предприятиями нелегально.

Неорганические вещества. Строго говоря, неорганические материалы содержат металлы. Однако чаще этот термин используется для того, чтобы включить такие материалы, как сернокислотные пульпы, пустая порода, стекло из бытового мусора и отходы при разборке зданий.

Органические вещества. Отходы химического органического синтеза являются особенно сложными, и новые синтезированные соединения попадают в поток отходов быстрее, чем их можно проверить с точки зрения возможной опасности. В Беркли (шт. Калифорния) было установлено, что ухудшение здоровья коричневого пеликана обусловлено действием ДДТ на оболочку яиц. Позже было найдено, что в организме антарктических пингвинов можно обнаружить ДДТ в измеряемых концентрациях. Эти результаты побудили общественность выступить против применения пестицидов и сброса в море органических соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Irving, *Dangerous Properties of Industrial Materials*, 4th ed., New York, Van Nostrand Reinhold, 1975.
2. John M. Malarkey, «Design of a mechanical-handling system for an automatic refuse-reclamation plant», Massachusetts Institute of Technology, thesis, 1973.
3. «Technical-economic study of solid waste disposal needs and practices», Combustion Engineering, Inc., Conn., U. S. Department of Health, Education and Welfare, Public-Health Service, (SW-7c), 1969.
4. Solid waste management — a comprehensive assessment of solid waste problems, practices, and needs», Ad Hoc Group for Office of Science and Technology, Washington, D. C., May 1969.
5. H. P. Wolfe, et al., «Health hazards of discarded pesticide containers», *Archives of Environmental Health*, vol. 3, pp. 45—51 (Nov. 1961).
6. Goettsching, H., «Wie können pathogene Keime in den Hausmüll gelangen?», *Städtehygiene*, 23 (3): 183—188 (1972).
7. Goettsching, H., «Krankheiten durch Müll-Vorschläge zur abhilfe», *Städtehygiene*, 23 (10): 230—236 (1972).
8. Edwards, Philip W. «Salmonellosis — an expanding problem» in proceedings of the national conference on salmonellosis, P. H. S. publication no. 1262, Washington, D. C., Mar. 1965.
9. Trigg, Jere A., «Microbial examination of hospital solid wastes», M. S. thesis, West Virginia University, Morgantown, W. VA, 1971.

10. Armstrong, David Harold, «Hospital refuse-chute sanitation», M. S. thesis, West Virginia University, Morgantown, W. VA, 1969.

11. Lane, Thomas M., «Trends in the use of disposables in health-care facilities», in Salkowski, ed., «Disposal of single-use items from health-care facilities; report of the second national conference», National Sanitation Foundation, Ann Arbor, Michigan, Monograph no. 8, Sept, 1970.

12. Mirdza L. Peterson, «Pathogens associated with solid-waste processing», U. S. E. P. A., report SW-49r, 1971.

13. Office of solid-waste-management programs, E. P. A. «Report to congress—disposal of hazardous wastes», U. S. E. P. A., report SW-115, 1974.

14. Thrift G. Hanks, «Solid waste/disease relationships -- a literature survey», U. S. Public-Health Service, U. S. Department of Health, Education and Welfare, report SW-1c, 1967.

Глава 4. СБОР, ТРАНСПОРТИРОВКА И МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

4.1. СБОР ОТХОДОВ

Ральф Стоун

4.1.1. ТИПЫ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

В 1972 г. в США было образовано примерно 4 млрд. т твердых отходов. Из всего этого количества примерно 3,7 млрд. т отходов «произведено» сельским хозяйством и горной промышленностью. Городские источники твердых отходов в США делятся на две основные группы: промышленные (110 млн. т в год) и коммунальные (250 млн. т в год). Коммунальные отходы — это общий термин, относящийся к бытовым, торговым, конторским и строительным твердым отходам.

Бытовые отходы. В городских районах каждым жителем ежегодно «производится» примерно 1,1 кг отходов. Объем и состав бытовых отходов могут сильно изменяться в зависимости от районов и климатических условий (табл. 4.1 и гл. 14). Как правило, количество отходов на душу населения повышается при увеличении доходов, хотя для некоторых мест эта зависимость не прослеживается — объем отходов фактически падает, в то время как доходы не уменьшаются (рис. 4.1). Объем бытовых твердых отходов в городах зависит от времени года (рис. 4.2). Имеются сугубо сезонные отходы — обрезки плодовых деревьев, осенние листья и т. п. Районы с высокой плотностью населения дают меньше твердых отходов в расчете на одного человека; отходы от многоквартирных домов не содержат или содержат в малом количестве траву и листья. Для районов с большим числом мусоросборников характерно значительно меньшее количество пищевых отходов. Типичные

Таблица 4.1. Производство бытовых твердых отходов

Город	Количество бытовых твердых отходов, кг/(чел.·сут)
Ниагарский водопад, шт. Нью-Йорк	1,22
Лос-Анджелес, шт. Калифорния	1,18
Филадельфия, шт. Пенсильвания	0,95
Нью-Йорк, шт. Нью-Йорк	1,09
Сент-Питерсберг, шт. Флорида	0,97
Сан-Франциско, шт. Калифорния	1,43
Майами, шт. Флорида	0,79
Уилтон, шт. Коннектикут	1,09
Уэстон, шт. Коннектикут	0,95

бытовые твердые отходы могут содержать бумагу от 33 до 45% (по массе), пищевые отходы от 10 до 20%, стекло и керамику от 5 до 10%, металлы от 5 до 10%, траву и листья от 5 до 15%, ткани от 2 до 6% и обычно менее 4% — дерева, пластических масс, резины, кожи и инертных материалов.

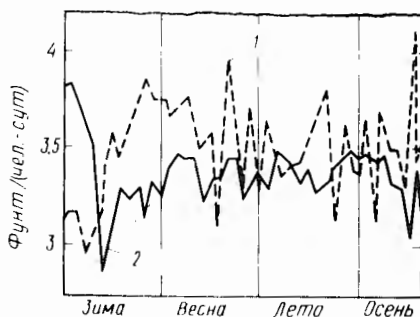
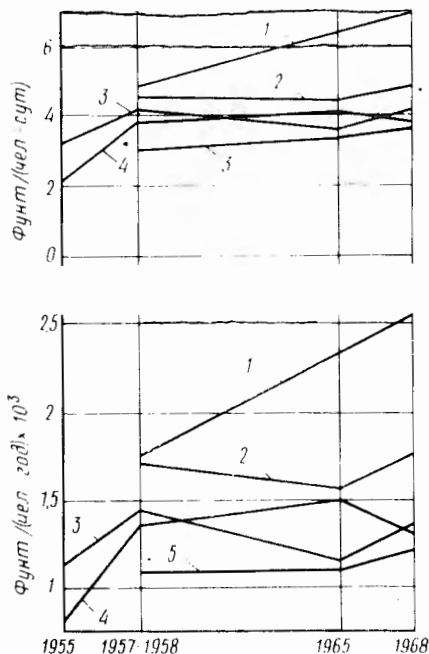


Рис. 4.2. Количество твердых отходов, сожженных в Цинциннати 1 и Хартфорде 2 в 1967 г., в зависимости от времени года

Рис. 4.1. Количество бытовых твердых отходов, собранных в пяти основных городах США, за тринадцать лет
1 — Лос-Анджелес; 2 — Вашингтон, округ Колумбия; 3 — Гарден-Сити, Нью-Йорк; 4 — Сизтл; 5 — Цинциннати

Отходы торговых предприятий. Общий состав отходов торговых предприятий подобен составу бытовых отходов, но отдельные источники преимущественно «производят» отходы более однородного состава: Так, очевидно, что рестораны дают больше пищевых отходов и соответствующих упаковочных материалов, магазины являются источником частично пищевых отходов и, главным образом, отходов в виде картона или бумаги, а гостиницы дают значительное количество отходов в виде тканей, а также обычный мусор и просто хлам. Количество производимых твердых отходов, приходящихся на одну учетную единицу, для источника торговых отходов значительно больше, чем для источника бытовых отходов, в результате чего мусоровоз в районах размещения магазинов заполняется довольно быстро.

В густонаселенных городских районах отходы торговли «производятся» в большем количестве и быстрее, чем в малонаселенных сельскохозяйственных районах. Маршруты транспорта для сбора торговых и бытовых отходов, обслуживаемые одной и той же организацией, могут быть составлены таким образом, чтобы мусоровозы эффективно обслуживали места сбора отходов от этих двух источников.

Промышленные отходы. В промышленные отходы входят остатки от изготовления продуктов питания, зола из котельных, дерево, лом пластмасс и металлов, шламы, отходы упаковочных материалов, строительный мусор и т. п. Сбор и удаление промышленных отходов обычно осуществляются частными фирмами и реже — самими производителями отходов. Количество отходов, образующихся в данном районе, зависит от типа и размеров имеющихся там промышленных объектов, а не от количества проживающих в этом районе. Вследствие этого средние данные об общем количестве отходов в расчете на одного человека могут дать искаженную картину.

Отходы от сноса старых зданий. Твердые отходы от сноса старых зданий и от строительства включают в себя различные пиломатериалы, обрезки и обломки кровли, камень, мусор, куски бетона, асфальт, кирпичи, штукатурку, алебастр, трубы, проволоку и другие остатки строительных материалов. В среднем жилом поселке строительство и снос старых зданий будут зависеть от возраста поселка, темпов его развития, количества населения и местоположения. Количество твердых отходов от строительных и демонтажных работ в среднем может составлять приблизительно 0,33 кг в сутки на одного человека в типичных городских центрах с высокой плотностью населения¹.

Громоздкие отходы. В громоздкие отходы входят деревья, телеграфные столбы, брошенные автомобили и автомобильные части, шины, кухонные плиты, холодильники или другие крупные приборы,

¹ Исследования 1976 г. показывают, что эта величина может достигать даже 1,35 кг/(чел.сут). В целом по США отходы за счет сноса старых зданий составляют примерно 0,45 кг/(чел.сут).

мебель, корзины, матрацы и т. п. Обычные мусоровозы не могут забирать такие материалы. Для этого используют специальные грузовые автомобили с открытым кузовом.

С брошенных автомобилей обычно снимают колеса и шины. Для буксировки брошенных автомобилей можно использовать грузовик-тягач с платформой. Чтобы уменьшить стоимость перевозки громоздких брошенных автомобилей, можно использовать пресс.

Машины, предназначенные для сбора веток деревьев и кустарников, обычно работают более эффективно, если их оборудовать такими приспособлениями для уменьшения объема мусора, как устройства для ломки веток или для измельчения листьев.

Отходы, представляющие опасность. Опасными считаются отходы, содержащие патологические, взрывчатые, радиоактивные или ядовитые вещества. Остатки из печи для сжигания отходов или зола в бытовых отходах могут воспламениться в установках для сбора или захоронения отходов. Отходы жидких и твердых материалов, представляющие опасность, в некоторых случаях собирают в контейнеры и включают в общий поток твердых отходов. Бригада сборщиков отходов должна идентифицировать все отходы, представляющие опасность. Опасные отходы обрабатывают отдельно от остальных с принятием соответствующих мер безопасности. Обычные и специальные машины для сбора отходов необходимо снабжать средствами тушения огня и защитной одеждой, используемой при обработке опасных материалов. Если требуются аварийные работы (см. также гл. 3), нужно иметь запасное оборудование.

4.1.2. ХРАНЕНИЕ ОТХОДОВ

Контейнеры. Жесткие, плотно закрываемые контейнеры следует изготавливать преимущественно из прочного металла или пластмасс. Максимальная масса заполненного контейнера не должна превышать 35 кг. Во избежание порезов и ушибов нельзя пользоваться поврежденными (с острыми краями) контейнерами. Контейнеры должны находиться на ровной бетонированной площадке или быть приподнятыми над землей, чтобы уменьшить коррозию металлического контейнера. Некоторые контейнеры, изготовленные из винилпласта, с течением времени или в результате хранения на холоде растрескиваются, поэтому более предпочтителен полиэтилен.

Мешки. Пластиковые и бумажные мешки для хранения мусора имеют следующие преимущества:

- 1) одноразовое употребление без последующего возврата;
- 2) универсальность, стандартные размеры и гигиеничность;
- 3) быстрый сбор отходов (мешки не надо открывать и возвращать на место после того, как они будут опорожнены);
- 4) содержимое мешка мало просыпается; а это уменьшает загрязнение;
- 5) облегчено решение вопроса о хранении и обращении с мешком (он используется как контейнер-вкладыш или подвешивается в держателе);

6) мешки легко приспособляются для механического сбора путем соответствующего оборудования грузовых автомобилей (рис. 4.3).

В целом пластиковые мешки по сравнению с бумажными проще в хранении и обращении. Они без затруднений принимают необходимую форму, более дешевы, легче заполняются и закрываются.

Однако как бумажные, так и пластиковые мешки быстро рвутся. Их необходимо постоянно поставлять, и они сами входят в состав твердых отходов, а их стоимость включается в стоимость сбора отходов. Стандартные размеры мешков и жестких контейнеров для сбора твердых отходов обычно рассчитаны на вместимость соответственно примерно 130 и 160 дм³. Пластиковые (полиэтиленовые) мешки для сбора твердых отходов обычно изготавливают из пленки толщиной приблизительно 40 мкм, бумажные мешки во избежание намокания, как правило, делаются двойными из бумаги, имеющей пластиковый слой.

При большом количестве твердых отходов для хранения следует применять большие бункера (объемом 1—10 м³), а не многочисленные мешки или контейнеры малого размера. Более крупные бункера можно также использовать в качестве стационарных уплотнителей отходов с целью уменьшения объема сохраняемых и собираемых отходов и уменьшения стоимости удаления отходов.

Желательно, чтобы сбор отходов производился дважды в неделю, так как это уменьшает размножение мух. Бункера должны быть изготовлены из одного листа металла, быть водонепроницаемыми, прочными и постоянно содержаться в хорошем состоянии, чтобы предохранить распространение паразитов и запахов. Сбор отходов в бункера удобен при обработке больших объемов промышленных, торговых, сельскохозяйственных отходов и бытовых отходов в районах с высокой плотностью населения.

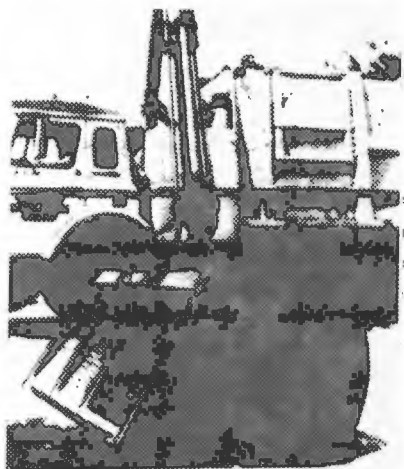


Рис.4.3. Механический подборщик мусора (с разрешения "Галф ойл корпорейшн")

Для сбора сельскохозяйственных, промышленных и строительных отходов очень удобны сменные, очень крупные бункера. Стоимость таких больших бункеров, оборудованных или не оборудованных уплотнителями в расчете на единицу измерения твердых отходов, меньше, чем небольших мешков, контейнеров или бункеров. При расположении в центральной части обслуживаемого района сменные бункера вместимостью от 15 до 30 м³ экономически более выгодны, чем небольшая санитарная земляная засыпка.

Для сбора отходов и их транспортировки используют специальные грузовые автомобили, оборудованные устройством для подъема этих бункеров на шасси грузовиков (рис. 4.4). Обычно, когда забивают заполненный бункер, вместо него ставят пустой бункер, чтобы обслуживаемый район не оставался без устройств для сбора твердых отходов.

Другие устройства для хранения отходов. Мусорная свалка твердых отходов вблизи мест их образования неэффективна, распространяет неприятные запахи, способствует размножению крыс, мух и других паразитов. Кроме того, она может вызвать пожар. Вкапывание в землю контейнеров также нежелательно, так как это усложняет изъятие слитых туда пищевых отходов и очистку емкостей, в результате чего также появляются антисанитарные условия. Использование контейнеров, помещенных в ямы, сопряжено с затруднениями при их извлечении.

Уплотнители отходов. Потребность в емкостях для хранения отходов может быть уменьшена путем применения контейнеров, снабженных устройствами для уплотнения отходов (рис. 4.5). В тех населенных пунктах, где запрещено использование печей для сжигания мусора, на их место могут быть установлены уплотнители твердых отходов. Домовые уплотнители отходов, представляющие собой последнее нововведение, используются в настоящее время только в более зажиточных домах. Однако очевидно, что ни уплотнители, ни измельчители, ни любые другие устройства, служащие для уменьшения объема полученных твердых отходов, не уменьшают их общей массы.

Выделение и утилизация отходов в месте их получения. Выделение утилизируемых материалов, обеспечиваемое производителем в месте их получения, представляет собой простой метод разделения твердых отходов. Выделенные материалы имеют минимальные затраты, но для них требуется специальное оборудование или дополнительный транспорт для сбора и обработки этих отходов.

При выделении отходов основной целью является сохранение материальных ресурсов. Для населенных пунктов, практикующих сжигание твердых отходов, желательно разделение на отходы горючие и негорючие. Преимущественное использование для удаления твердых отходов санитарных земляных засыпок уменьшает необходимость выделения отходов в источнике их получения. На места удаления отходов первого класса, для которых вероятность загрязнения грунтовых вод мала, не накладывается никаких ограничений по части выделения отходов. Места удаления отходов



Рис. 4.4. Контейнеровоз (с разрешения «Зе хейл корпорейшн»)

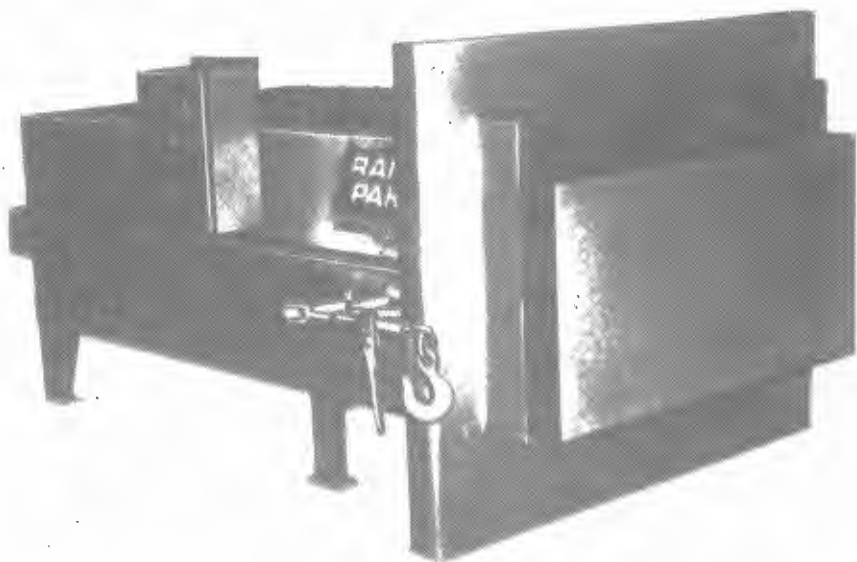


Рис. 4.5. Стационарный уплотнитель постоянного действия вместимостью примерно 255 м³ (с разрешения «Америкен солид весте системз»)

второго класса (расположенные выше уровня горизонта грунтовых вод и защищенные от дождевых потоков путем использования контролируемого дренажа поверхности) могут применяться для захоронения обычных бытовых отходов и твердых торговых отходов, включая гниющие органические остатки и большую часть обычного металлолома.

Выделение из массы отходов отдельно консервных банок, бумаги и других компонентов, содержащихся в значительных количествах, может в будущем стать общественной обязанностью. Многие населенные пункты в прошлом практиковали отдельный сбор пищевых отходов, консервных банок, стеклянных и бумажных отходов, но стремились объединить сбор разных отходов с целью уменьшения стоимости сбора и удаления отходов.

4.1.3. ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМЫ СБОРА ОТХОДОВ

В настоящее время используется множество различных параметров системы, включая транспорт для сбора отходов, маршруты, бригады сборщиков, частоту сбора, характер обслуживания, график работы, исходное расположение отходов и т. п. Выбор наиболее подходящей системы зависит от местных условий. Зависимость полной стоимости сбора мусора от количества населения графически представлена на рис. 4.6. Стоимость уборки в зависимости от частоты сбора, типа фирмы и характера обслуживаемых мест для типичных крупных столичных районов приведена в табл. 4.2.

При проектировании, создании и снабжении системы для сбора твердых отходов в каком-либо определенном районе необходимо тщательно разработать параметры, определяющие ее деятельность. Ниже приведен перечень факторов, которые следует учитывать при проектировании и эксплуатации системы.

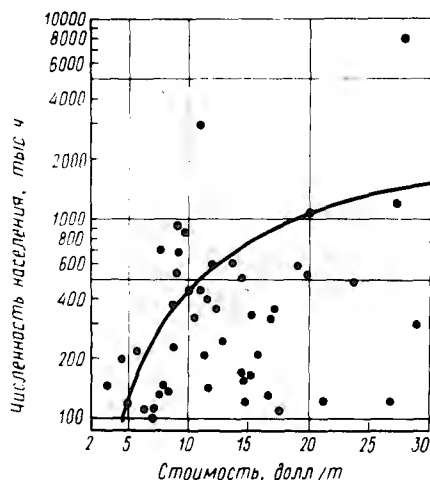


Рис. 4.6. Стоимость отходов в 46 городах

Таблица 4.2. Стоимость сбора бытовых твердых отходов различными агентствами в типичных столичных районах [14]

Тип агентства	Частота сбора в неделю	Обслуживаемая точка	Стоимость, долл/мес
Городское	1	Тротуар	2,5
Окружное	1	»	3,6
Городское	1	Въезд во двор	2,35
Окружное	1	То же	3,76
Городское	2	Тротуар-переулок	2,74
»	2	Обочина	2,92
»	2	Тротуар	2,68
Городское	2	Въезд во двор	2,7
Частное	2	То же	3,6
Городское	2	»	4,85
»	2	»	5,2
Частное	2	»	5,45
Городское	3	»	2,66

Параметры для проектирования и эксплуатации системы сбора отходов

1. Проектирование системы.

А. Организационные вопросы.

1. Общественное положение (например, общественная в отличие от частной, привилегированная, договорная).

2. Методы финансирования (например, сбор с пользователей в отличие от доходов за счет налогов, бюджетное финансирование, выпуск акций, долгосрочная аренда).

3. Субсидирование (например, жителями — в отличие от коммерческого, городом — в отличие от пригородов).

4. Организационная структура.

5. Информационные системы.

6. Форма отчетности.
7. Меры регулирования и принуждения.

Б. Выбор уровня обслуживания.

1. Место сбора отходов.
2. Частота сбора.
3. Тип хранилищ для отходов.
4. Ограничения, накладываемые на количество отходов или число контейнеров.
5. Механизация систем хранения и сбора отходов.
6. Сбор дворовых отходов.
7. Сбор громоздких отходов.
8. Разделение материалов.
9. План внутригородской уборки.
10. Обслуживание пожилых и больных людей.
11. Дома в тупиках и закоулках.

II. Проектирование эксплуатационных параметров.

А. Проектирование перевозок.

1. Размеры бригад.
 2. Тип и размеры оборудования.
 3. Сбор отходов водителями.
 4. Обслуживание автомобилей.
 5. Челночная система.
 6. Система накопления.
 7. Наполнение мусоровоза перед отправлением к месту удаления отходов.
 8. Определение часов и мест для завтрака и перерывов.
 9. График работы.
 10. Маршруты.
 11. Сбор мусора с одной или с двух сторон улицы.
 12. Возвращение автомобилей по более короткой дороге.
 13. Крутые подъемы.
 14. Ограждения, подъезды, гаражи, лестницы.
 15. Сезонные изменения.
- Б. Планирование труда.**
1. Невыходы на работу.
 2. Продвижение по службе.
 3. Дни отдыха, отпуск, отпуск по болезни.
 4. Система поощрений.
 5. Заработная плата.

Полезными исходными данными для оценки той степени, которой достигла спроектированная система сбора отходов по сравнению с ее потенциальными возможностями, могут служить известные показатели производительности (табл. 4.3).

Численность бригад. Численность бригад по сбору отходов зависит от типа системы, оборудования и характера обслуживания (табл. 4.4). В общем наибольшая экономия и высокий уровень обслуживания могут быть достигнуты при использовании бригад минимальных размеров; только в редких случаях может быть

Таблица 4.3. Производительность сбора твердых отходов для одиннадцати бригад [14]

Место и частота сбора	Характер работы			Производительность				
	численность бригады	метод	организация работы	количество собранных отходов, т/ч	число обслуженных домов, шт/ч	стоимость собранных отходов долл/т	стоимость с учетом простоев, долл.	число клиентов на 1 автомашину в неделю
Тротуар или улица (1 раз в неделю)	1	1 сторона	Аккордное задание	2,2	100,9	8,44	0,19	7763
	1	То же	Повременная работа (8 ч)	1,9	54,7	8,75	0,29	4344
	2	»	Аккордное задание	2,1	109,6	11,82	0,22	7517
	2	»	Повременная работа (8 ч)	3	118,2	8,29	0,21	9615
	3	2 стороны	То же	1,7	63,7	18,93	0,51	4150
	3	То же	Аккордное задание	3,8	99,2	10,34	0,38	7060
Тротуар или улица (2 раза в неделю)	1	1 сторона	Аккордное задание	1,3	88,5	12,71	0,38	3636
	2	То же	То же	—	—	18,52	0,29	4607
	3	2 стороны	»	3	199,5	13,65	0,45	6316
Двор (1 раз в неделю)	2	Вывоз бочек	»	1,2	71,7	18	0,31	5130
	2	То же	Повременная работа (8 ч)	1,1	43,8	19,72	0,47	3699

Примечание. Данные основаны на следующих стандартизованных расценках. Заработная плата: водителей 4,34 долл/ч, сборщиков 4,15 долл/ч. Дополнительные выплаты 18,3% от заработной платы. Накладные расходы на содержание обслуживающего персонала 13,1% от заработной платы. Время амортизации 5 лет. Стоимость эксплуатации 5,5% от капитальных затрат в год. Стоимость горюче-смазочных материалов: 0,17 долл./галлон, топлива 0,23 долл./кварту масла.

Таблица 4.4. Численность бригад, используемых для сбора твердых отходов в 192 населенных пунктах [2]

Население, тыс. чел.	Численность бригады, включая водителя																
	1	2	3	4	5	9	1; 2 *	1; 3	2; 3	2; 4	3; 4	3; 5	4; 5	1; 2; 3	4; 5; 6	2; 4; 5	1; 2; 3; 4
От 10 до 100	8	31	61	7	5	1	6	7	13	1	2	2	1	2	0	1	0
От 100 до 500	0	7	13	0	2	0	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0	1
От 500 и более	0	3	6	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Итого	8	41	80	8	8	1	6	10	16	1	3	2	3	2	1	1	1
Всего	146										46						

* В тех случаях, когда указано более одного числа, это означает, что численность бригады изменяется в зависимости от обстоятельств и целей работы.

оправдано использование более двух человек (уборка обочин улиц) или более трех человек (уборка дворов). Время всех членов бригады, за исключением водителя, во время всего рейса расходуется, в основном, непроизводительно. В некоторых управлениях пытаются использовать членов таких бригад для уборки улиц или переулков или для установки или изъятия контейнеров в то время, когда заполненный мусоровоз совершает рейс для удаления собранных отходов. Было показано, что эффективным при уборке тротуаров и переулков является использование одного человека, исполняющего функции и водителя, и оператора на автомашине, оборудованной боковым или фронтальным автопогрузчиком.

Графики работы бригады и маршрутов мусоровозов взаимосвязаны (см. гл. 13). Схема маршрутов может быть различной для ежедневной и еженедельной уборки, одиночных поездок или для любой другой системы. Схема передвижения машин должна быть достаточно продумана, чтобы в зависимости от сезонных изменений в количестве образуемых отходов избежать транспортных перегрузок или порожних рейсов. Организация сбора отходов, которая отвечает требованиям заказчика, обычно не устраивает транспортные кампании. График работы бригады основывается, по существу, на компромиссе между системой с ограниченным рабочим днем и системой, стимулирующей более продолжительную работу. Первая подразумевает четко определенный рабочий день (например, 8 ч), допуская в случае необходимости переработку, а вторая основывается на принципе аккордной работы, когда решение поставленной задачи является более важным, чем определенное число проработанных часов. В г. Инглевуде (шт. Калифорния) была успешно использована аккордная система, при которой бригады, раньше других выполнившие свои задания, помогали другим бригадам, до тех пор пока не были выполнены все поставленные задачи. Хотя использование системы дополнительного стимулирования может увеличить число обслуженных в течение рабочего дня клиентов, она имеет и недостатки. Работники, которые стремятся скорее закончить работу, могут быть менее аккуратны и соответственно могут небрежно обращаться с контейнерами, а это может привести к тому, что чересчур много мусора будет просыпано.

Тип обслуживания

Удаление отходов со дворов. Сборщик удаляет отходы со двора дома и возвращает пустые контейнеры. С точки зрения клиента — это наиболее совершенная форма обслуживания. Кроме того, при этом устраняются загромождение тротуаров контейнерами и засорение территории. Сборщики отходов часто переносят контейнер, находящийся во дворе, к более вместительному контейнеру, который они и опорожняют в мусоровоз. Для таких переносок они нередко используют обычные мешки и пластиковые контейнеры для влажных отходов. Недостатки обслуживания такого

типа: высокая стоимость; вторжение сборщиков отходов в частные владения; повреждения изгородей, газонов и т. п., поскольку сборщики при переноске отходов обычно стараются пользоваться коротким путем до ближайшего участка, а не более длинными дорожками. Обслуживание со сбором отходов со двора обеспечивает максимальную гибкость обслуживания, но низкая производительность и высокая стоимость такой системы часто приводят к решению использовать другие системы сбора отходов.

Разновидностями системы сбора отходов являются использование выставляемых и оставляемых контейнеров. При обслуживании по системе выставляемых контейнеров последние выставляются сборщиками отходов на обочину тротуара, обычно по пути обычного маршрута мусоровоза. Клиенты сами забирают свои опорожненные контейнеры. В идеальном случае заполненные отходами контейнеры находятся на улице только непродолжительное время, что позволяет уменьшить загрязнение среды. Однако поскольку при такой и при других аналогичных системах сбора отходов контейнеры могут оставаться на обочине в течение продолжительного времени, их следует закрывать крышками. Однако на практике крышки с заполненных контейнеров часто теряются. При системе обслуживания с помощью контейнеров, оставляемых клиентами, требуется, чтобы они выносили свои контейнеры на обочину. Бригада сборщиков отходов возвращает пустые контейнеры во двор. Этот метод характеризуется меньшей гибкостью, чем два других метода.

Во всех системах сбора отходов с использованием контейнеров важно, чтобы требовался только один рейс между двором дома и мусоровозом. Достижению этой цели может способствовать использование мешков. Вследствие того что устраняется необходимость возвращать мешки во двор, вдвое сокращается расстояние, которое надо было бы проходить, если бы сбор отходов проводился в возвращаемые контейнеры. С переноской мешков или контейнеров связана опасность, заключенная в стремлении сборщиков одновременно переносить несколько контейнеров, чтобы избежать лишних рейсов, а это приводит к различным нарушениям техники безопасности и к несчастным случаям.

Уборка обочин и тротуаров. Уборка обочин — наиболее эффективный вид обслуживания. Сборщикам отходов не требуется переносить контейнеры с отходами на большие расстояния. Однако сбор отходов сопровождается многочисленными нарушениями техники безопасности (табл. 4.5). Следует избегать использования большегрузных мусоровозов, перегружаемых твердыми отходами и обслуживаемых крупными бригадами сборщиков отходов, так как при этом им приходится загружать машину, работая в сложных условиях.

Уборка обочин иногда проводится двумя или более членами бригады, работающими на противоположных сторонах улицы. Обычно такой метод менее эффективен, чем работа одного уборщика поочередно сначала на одной, а затем на другой стороне

**Таблица 4.5. Травматизм при сборе твердых отходов
в различных отраслях промышленности**

Отрасль промышленности	Показатель частоты случаев ¹	Показатель тяжести случаев ²
Промышленность в целом	7,35	655
Автомобильная	1,63	189
Машиностроение	4,82	350
Горная (работа на поверхности)	10,62	2589
Сталеплавильная	11,18	655
Строительство	13,48	1957
Лесная	16,34	2291
Горная (подземные работы)	29,42	4846
Санитарная служба (г. Нью-Йорк)	148	1205
Сбор твердых отходов (по определению Национального совета по охране труда)	60,8	2012

¹ Показатель частоты несчастных случаев означает количество несчастных случаев с выходом из строя работников на 1 млн чел.-ч.

² Показатель тяжести несчастных случаев — это число потерянных дней на 1 млн чел.-ч.

улицы. Следует избегать одновременной уборки обеих сторон улицы; исключение могут составлять улицы с очень малым движением и с небольшим количеством стоящих машин. На загруженных улицах появляется опасность возникновения несчастных случаев, связанных с автомобильным движением.

Уборка переулков. Сбор твердых отходов в переулках присущ многим старым городам. Эта операция подобна сбору отходов на обочинах, за исключением того, что обычно обе стороны переулка убираются одновременно. Тупиковые переулки не следует включать в схему сбора отходов, если мусоровоз должен задним ходом возвращаться обратно, так как это опасно. Уборка переулков обычно сочетается с удалением отходов дворов при условии, что контейнеры находятся вблизи переулка. В качестве иллюстрации в табл. 4.6 указаны типы и число контейнеров для отходов, установленных в переулках г. Бостона.

Таблица 4.6. Тип и число контейнеров для мусора, выставленных на выделенных местах улиц в течение одной недели

№ точки	Бумажный пакет ¹	Тип контейнера			Всего выставлено
		картонная коробка	пластиковый мешок	металлический контейнер ²	
1	37	3	7	0	47
2	53	8	6	3	70
3	68	12	16	0	96
4	45	6	21	28	100
5	59	16	22	22	119
6	32	0	18	23	73
Итого	294	45	90	76	505
% от итога	58,6	8,6	17,9	14,9	—
Масса:					
кг *	535	224	531	580	1871
% по массе	29	12	28	31	—

¹ Пакеты, получаемые магазинами для бакалейных товаров.

² Обычно пластмассовый или покрытый металлом контейнер вместимостью примерно 120 л.

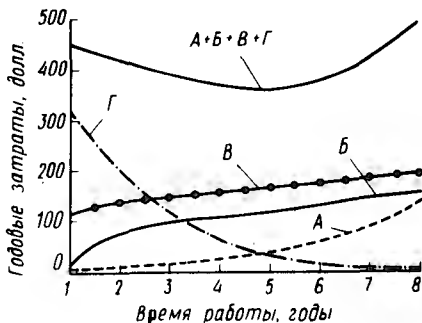
* Общая масса материалов, собранных в различные контейнеры.

Оборудование

Эксплуатация оборудования. Хороший уход за оборудованием для сбора отходов уменьшает ежегодные эксплуатационные расходы на содержание системы. На рис. 4.7 представлены данные о ежегодных расходах на эксплуатацию оборудования в зависимости от времени его работы; из этих данных видно, что через 3 г. основные расходы приходятся на ремонт оборудования, они идут на втором месте после текущих эксплуатационных расходов. Ремонтные работы должны обеспечиваться в рамках самой службы сбора отходов, так как посторонние автомастерские обычно менее надежны. Следует избегать использования неэффективного оборудования после истечения допустимого срока его полезного действия. Согласно данным, полученным в г. Хартфорде (шт. Коннектикут), ежегодные эксплуатационные расходы были понижены на 14 000 долл. при сокращении срока замены оборудования с 10 до 5 лет.

Рис. 4.7. Годовые затраты на автотранспортное оборудование в зависимости от времени его работы

А — простой; Б — техническое обслуживание; В — эксплуатация; Г — капиталовложения; А + В + Г — суммарные расходы



Конструкция оборудования. Мусоровозы должны быть закрытого типа и защищены от действия воды, чтобы их можно было использовать для работы при любых погодных условиях. Открытые грузовики следует применять только при сборе громоздких отходов, причем при перевозке их необходимо закрывать брезентом. Для повышения производительности желательно использовать машины с высокими бортами. Существенно наличие устройств, обеспечивающих безопасность движения, включая различные предупреждающие сигналы. Оборудование для уплотнения отходов должно быть снабжено аварийным выключателем.

Расчеты показывают, что в контейнерах для отходов в южных штатах в среднем собирается следующее количество отходов.

Тип контейнера	Масса, кг
Металлические или пластмассовые вместимостью около 120 л	8
Бумажные пакеты из магазина	2
Пластиковые мешки	6
Картонные коробки	5

Оптимальный объем мусоровоза определяется в соответствии с установившейся практикой (табл. 4.7). Объем мусоровозов обычно невелик (менее 15 м³); для систем, обладающих большей производительностью, где можно достичь высокой плотности отходов, обычно требуются более крупные мусоровозы (объемом от 15 до 30 м³). При выборе типа используемых автомашин необходимо учитывать и минимальный радиус поворота, и допустимую для местных дорог нагрузку.

Рабочий цикл. Наиболее важным оборудованием в системе сбора отходов являются уплотнители. С их помощью плотность твердых отходов увеличивается примерно от 60 до 360 кг/м³, таким образом значительно повышая объем отходов, собираемых

в процессе одного рейса. На многих автомашинах уплотнение невозможно во время движения автомобиля; объясняется это тем, что механизм уплотнения приводится в движение тем же двигателем, который используется для движения автомобиля. Сейчас становятся популярными машины, имеющие два независимых двигателя: один для уплотнения отходов, другой для движения автомобиля. С применением этих машин производительность труда по сбору отходов повышается.

Важным параметром при транспортировке отходов являются конструкция и расположение загрузочного устройства. Для сравнения в табл. 4.8 приведены данные о типах оборудования, используемого в городах с различным населением. Небольшие бригады (один или два человека, включая водителя машины) могут использовать мусоровозы с боковой загрузкой. Машины с фронтальной загрузкой представляют опасность для сборщиков отходов, работающих перед автомашиной. Машины с загрузкой сзади затрудняют контакт между водителем и сборщиками отходов, что также создает опасную ситуацию. Все загрузочные проемы должны иметь достаточно большие размеры, чтобы избежать затруднений при

Таблица 4.7. Изменение вместимости оборудования в зависимости от размеров города и частоты сбора отходов

Население города, тыс. чел.	Число обслужи- ваемых точек	Средняя вместимость при сборе 1 раз в неделю, м ³	Число обслужи- ваемых точек	Средняя вместимость при сборе 2 раза в неделю, м ³
10—20	3	13,5	9	13,9
20—30	6	11,2	5	12,6
30—40	3	18,7	3	10,7
40—50	2	11,7	3	13,2
50—60	4	12,6	3	16,6
60—70	2	19,5	1	22,9
70—80	2	12,2	0	—
80—90	1	13,8	1	13,8
90—100	2	13,3	2	17,9
Среднее	25	14,2	27	14,1
100—200	5	18,7	2	14,4
200—300	2	13	2	12,1
300—400	2	13,6	3	13,6
400—500	0	—	1	15,7
Среднее	9	16,4	8	13,6
500 и более	5	14,8	3	14,3

Таблица 4.8. Типы оборудования, используемого для сбора отходов в различных городах

Население города, тыс. чел.	С загрузкой сзади		С боковой загрузки		С ковшом спереди		Контейнер		Общее количество
	количес- тво	%	количес- тво	%	количес- тво	%	количес- тво	%	
10—100	586	77,6	128	17	34	4,5	7	0,9	755
100—500	680	69,5	185	18,9	58	5,9	56	5,7	979
500 и более	3106	94,5	96	3	—	—	82	2,5	3284
Всего	4372	87,2	409	8,2	92	1,8	145	2,8	5018

разгрузке контейнеров с отходами, и они должны быть расположены достаточно низко, чтобы к ним был облегчен доступ. При наличии автомашин, оборудованных опрокидывающимся загрузчиком, снабженным «беспылевым» или иным поднимающим устройством для разгрузки контейнеров, можно уменьшить общий парк машин и ликвидировать повторные рейсы.

Значительный интерес вызвали автомашины, сконструированные с учетом возможности механического захвата контейнеров с твердыми отходами (рис. 4.8). При идеальных условиях сбора отходов это оборудование может оказаться очень производительным, однако наличие таких препятствий, как стоящие у тротуаров автомашины и невысокие деревья, может снизить эффективность сбора отходов. Автомашины для механического сбора отходов следует использовать в сочетании с унифицированными контейнерами.



Рис. 4.8. Механический захват контейнеров в Скотсдейле, шт. Аризона (с разрешения "Вестерн Боди энд Хойет, Лос-Анджелес")

(В одной из систем применяют контейнеры объемом $0,35 \text{ м}^3$, а в другой — полиэтиленовые мешки объемом $0,14$ и $0,18 \text{ м}^3$.)

В некоторых районах может оказаться эффективной система смены мусоровозов. Машины меньшего размера (в некоторых случаях мотолереры) с одним или несколькими мусорными ящиками, заполняемыми бытовыми отходами, после сбора отходов возвращаются и сваливают собранные отходы в более крупную машину — базовую. Одна большая базовая машина может использоваться для уплотнения отходов и иметь несколько небольших машин-спутников. Стоимость применения такой системы и ее преимущества определяются использованием малых машин.

Другие транспортные системы. Для транспортировки на небольшие расстояния отходов из больниц и из крупных торговых, промышленных и жилых комплексов успешно применяют системы, предусматривающие использование пневматических трубопроводов. В этих системах обычно применяют трубопроводы минимальным размером 45 см , автоматические вентили с загрузочным устройством, мощные вакуумные насосы и устройства для контроля загрязнения воздуха. При конструировании пневматических систем особое внимание следует уделять мерам пожарной безопасности. В настоящее время интенсивно исследуются возможности создания трубопроводов для транспортировки жидкостей и передачи на большие расстояния взвесей твердых отходов; полученные предварительные результаты вполне обнадеживают. Такая система характеризуется высокими начальными капитальными затратами, которые частично могут компенсироваться за счет более низких ежегодных эксплуатационных расходов. Более полный обзор систем с трубопроводами дан в разд. 4.2.

4.1.4. ОБРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Уменьшение объема отходов нередко может производиться транспортным агентством. Использование таких методов, как измельчение отходов и получение брикетов с высокой плотностью, также может способствовать повышению производительности автомашин за счет увеличения их вместимости и таким образом уменьшить общие текущие расходы. Необходимо выполнить экономический расчет, чтобы определить, оправдано ли в данном случае применение системы уплотнения отходов.

В настоящее время твердые отходы брикетируются лишь в отдельных городах. Брикетированные твердые отходы удобнее в перевозке, легче обрабатываются, имеют достаточно унифицированные размеры (например, примерно $1,2 \text{ м}$ в длину и $1,8 \text{ м}$ в поперечном сечении) и высокую плотность (около $900\text{—}1000 \text{ кг/м}^3$). Благодаря более высокой плотности увеличивается количество твердых отходов, которое может быть перевезено транспортными единицами ограниченного объема, например по железной дороге, и по сравнению с любой другой системой транспортировки отходов

меньше загрязняется окружающая среда. Стоимость брикетирования и последующего удаления твердых отходов колеблется от 3 до 7 долл/т за полный цикл работ (данные за 1974 г.).

4.1.5. ПЕРЕВОЗКА ОТХОДОВ НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

Железнодорожные перевозки. Обычно железнодорожные перевозки становятся экономически целесообразными, если осуществляются следующие условия:

- 1) расстояния перевозок превышают примерно 150 км;
- 2) ежедневно транспортируются, по крайней мере, 1000 т отходов;

- 3) железнодорожные вагоны используются только для перевозки твердых отходов [8]. Стоимость самой перевозки на 160 км (в оба конца) не превышает 4 долл/т; при расстоянии 320 км она достигает 4,65 долл/т [9]. В табл. 4.9 приведены данные для сравнения стоимости железнодорожных перевозок с другими видами транспортировки отходов.

Транспортировка отходов на баржах. Транспортировка на баржах представляет собой особый случай перевозки отходов на большие расстояния, применение которого ограничивается небольшим числом подходящих районов. Стоимость перевозки на баржах сравнительно невелика: 2,3 долл/т (в ценах 1970 г.) при перевозке в оба конца на расстояние 32 км и 3,7 долл/т при перевозке на расстояние 320 км [9].

Трайлерные перевозки отходов. Стоимость перевозки отходов на трейлерах-полуприцепах меняется в широких пределах в зависимости от ставок заработной платы, скорости и объема перевозок, а также от требований к организации процесса перевозок и обработки отходов, различающихся для разных районов страны. В среднем стоимость составляет 15 долл/ч (1965 г.) в расчете на 20-т мусоровозы [5].

Для разгрузки мусоровозов используют механические погрузчики или драглайны, а для подачи твердых отходов — бульдозеры.

Транспортировка отходов по трубопроводам. Преимуществом системы трубопроводов может быть возможность ее использования для транспортировки как твердых, так и жидких отходов (см. следующий раздел данной главы). В будущем возможно сочетание задач удаления твердых и жидких отходов. Транспортировка жидкого ила по трубопроводам обходится примерно в 0,04 долл/км (1972 г.) за 3800 л жидкого ила [10].

4.1.6. УБОРКА УЛИЦ

Улицы должны содержаться в чистоте по многим причинам:

- 1) чтобы избежать заболеваний, несчастных случаев и других неприятностей, связанных с уличной грязью;

- 2) чтобы исключить опасность, связанную с наездами автомобилей на острые металлические предметы;

Таблица 4.9. Стоимость перевозок в оба конца (1970 г.), долл/т

Метод транспортировки	Расстояние, км									
	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
Мусоровоз:										
скорость 16 км/ч	7,25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
» 32 »	3,8	7,4	—	—	—	—	—	—	—	—
» 64 »	2,2	4,4	6,6	—	—	—	—	—	—	—
Полутрайлер грузо- подъемностью 17 т	1,95	2,6	3,2	3,65	4,1	4,55	5	5,4	5,85	6,25
Железнодорожные перевозки	—	—	4	4,1	4,15	4,25	4,35	4,45	4,55	4,65
Транспортировка на баржах	2,3	2,65	2,85	3	3,15	3,2	3,35	3,5	3,6	3,7

3) чтобы уменьшить опасность возгорания сухих листьев и бумаги, скольжения и буксования на мокрых листьях;

4) чтобы улучшить внешний вид населенного пункта;

5) чтобы избежать засорения канализации и ливневой канализации;

6) чтобы уменьшить загрязнение вод за счет уличного стока.

Соответствующая система сбора твердых отходов помогает уменьшить количество мусора и бумаги на улицах, но требуется еще и некоторая дополнительная уборка улиц.

Ручная уборка. При уборке улиц в перенаселенных районах больших городов может иногда потребоваться, по крайней мере, частичное использование ручного труда. Для безопасности уборщиков они должны быть одеты в яркие флуоресцирующие костюмы. Новое оборудование, например вакуумные пылесосы и автоматические щетки, заменяют традиционные метлы и тележки для мусора (см. гл. 1). Такое механическое оборудование позволяет оператору обслуживать большую площадь при меньших затратах на более открытых пространствах. Собранный мусор обычно складывается в мусорные ящики. Ящики с твердыми отходами, расположенные вдоль улиц, имеют непривлекательный вид и становятся источниками загрязнений. Следует рассмотреть вопрос об использовании небольшого числа грузовых машин для забора мусора, собираемого несколькими уборщиками улиц. Использование поливальных машин или поливка улиц из шлангов обходится дорого, приводит к загрязнению вод и не рекомендуется, за исключением некоторых особых случаев.

Поливальные машины. Во многих населенных пунктах для мойки улиц используют большие автомашины, снабженные соплами для подачи воды под давлением. Преимущества такой системы уборки таковы:

1) быстрая и основательная очистка проезжей части, не взирая на стоящие на улице автомашины и другие препятствия;

2) проведение всех операций только с влажной проезжей частью;

3) возможность проведения работы ночью;

4) отсутствие пыли.

Недостатки системы:

1) стоимость работ обычно выше, чем при сухой уборке;

2) загрязнение канализационных вод;

3) легкий мусор перемещается к обочине, краю тротуара и остается там;

4) не всегда удается избежать забрызгивания автомашин и пешеходов;

5) невозможность мойки в часы пиковой транспортной нагрузки.

Для успешного применения этой системы необходимо иметь хорошо обученный персонал, повышаются требования к сточной и ливневой канализации. Уход за отстойниками и удаление осадка составляют часть стоимости мойки улиц.

Уборочные машины. Обычные подметальные машины имеют вращающуюся щетку, вакуумные насосы или воздушные циркуляционные насосы, иногда — устройство для разбрызгивания воды и емкость для сбора мусора. Поскольку грязь и мусор собираются, в основном, по сторонам улиц, то достаточно эффективным для уборки может оказаться двукратный проход машины по правой стороне улицы туда и обратно. Так как уборке мешают стоящие на улице автомобили, то нередко стоянки автомобилей временно закрываются. В жилых районах в ночное время нельзя использовать машины повышенной шумности, машины должны быть хорошо освещены, чтобы избежать несчастных случаев.

Уличный мусор состоит, в основном, из бумаги, листьев и нейтральных отходов, и соответственно к нему предъявляются обычные требования по его уборке. Для перевозки собранного мусора непосредственно в места его удаления могут использоваться сами уборочные машины или отдельные мусоровозы. Следует избегать такой практики, когда подметальщики собирают уличный мусор в кучи для последующей его погрузки в автомашины, так как собранный мусор может разноситься ветром, транспортом, мелкими животными или пешеходами. Сбор уличного мусора — значительно более дорогой процесс, чем сбор твердых отходов на местах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Guidelines for Local Governments on Solid Waste Management**, EPA, 1971.
2. **A Study of Solid Waste Collection Systems Comparing One-Man with Multi-Man Crews**, Ralph Stone and Company, Inc., USPHS, Publication PH 86-67-248, 1969.
3. Shuster, K. **Analysis of Crew Productivities for Crew Sizes, Levels of Service, Equipment, and Collection Methodologies**, Unpublished data, 1973.
4. **1968 National Survey of Community Solid Waste Practices**, Cincinnati, EPA, USPHS; 1968 — Interim Report.
5. **Refuse Collection Practice**, Third Edition, American Public Works Association, Committee on Solid Wastes, 1966.
6. Zandi, I. **Pneumo-slurry Pipeline Collection and Removal of Municipal Solid Waste**, Towne School of Civil and Mechanical Engineering, 1973.
7. Glysson, et al. **The Problems of Solid Waste: Solid Waste Disposal**, University of Michigan College of Engineering, 1972.
8. **Rail Transport of Solid Wastes**, American Public Works Association, EPA, 1973.
9. **Municipal Solid Waste Collection**, National Center for Resource Recovery, Lexington Books, 1973.
10. **Disposal of Sewage Sludge Into a Sanitary Landfill**, Ralph Stone and Company, Inc., March, 1974.
11. Hagerty, D. J., Pavoni, J. L., and Heer, J. E., Jr. **Solid Waste Management**, New York, Van Nostrand Reinhold, 1973.
12. Cooper, G. H. and Jackson, D. W., **Depots, Workshops, and Vehicle Maintenance**, London, The Institute of Public Cleansing, 1968.
13. **Motor Vehicle Fleet Management**, American Public Works Association, Special Report No. 37, 1970.
14. **Opportunities for Improving Productivity in Solid Waste Collection**, Solid Waste Management Advisory Group, National Commission on Productivity, GPO Stock No. 1974-757-138, Washington, D. C., 1973.

Трубопроводы можно использовать для транспортировки как на короткие, так и на большие расстояния. Жидкости и газы, текущие с большой скоростью, могут захватывать твердые вещества и нести их с общим потоком. Это свойство потока жидкостей давно применяется в промышленности для транспортировки твердых материалов в больших объемах, и его же использовали для автоматического сбора и удаления твердых отходов.

Полностью автоматизированная система сбора и удаления отходов должна начинаться в каждом доме и оканчиваться в месте или в местах сброса отходов. Устройство ее должно предусматривать возможность перемещения отходов любого типа. Если расстояние между местами получения отходов и их сброса невелико (1,5—3 км), то можно использовать пневматическую систему, например, шведского типа. Она действует уже более 10 лет, и не было ни одного случая ее засорения. Если размеры отдельных предметов в отходах не превышают примерно 50 см (а это характерно почти для 98% всех бытовых домашних отходов), то при стандартных размерах используемых труб не требуется уменьшения размеров этих отходов. Если транспортировка отходов должна производиться на расстояние, превышающее несколько километров, и (или) максимальный объем отходов в трубопроводе чрезмерно велик, то пневматическая система становится непрактичной или экономически нецелесообразной. В этих условиях оказывается вполне приемлемой система с использованием пульпы.

Экономичность в расчете на тонна-километр трубопроводов для транспортировки пульпы (с водой в качестве носителя) возрастает при увеличении расстояния и объема отходов. Эта система эффективна при транспортировке измельченных материалов, поэтому для нее требуются специальные дробящие устройства, которые необходимо устанавливать во всех местах сбора отходов. Имеющиеся устройства измельчения отходов слишком громоздки и дороги, чтобы их можно было устанавливать в каждом здании. Вследствие этого, если место сбора отходов находится на большом расстоянии от мест получения отходов, то ни одна из этих систем (пневматическая и использующая пульпу) обычно не работает. Определенными преимуществами обладают рассматриваемые ниже комбинированные системы.

1. Полуавтоматическая система с использованием автомобильного транспорта для сбора твердых отходов в различных районах и доставки их в небольшие централизованные пункты, где эти отходы измельчают и смешивают с небольшим количеством сточных вод для получения пульпы, перекачиваемой на большие расстояния. Эта система имеет ряд недостатков, связанных с использованием автотранспорта для сбора отходов.

2. Полностью автоматизированная гибкая схема, в которой пневматические трубопроводы служат для сбора отходов и их транспортировки в виде пульпы на большие расстояния; эта схема не требует установки в каждом здании устройств для предварительного измельчения отходов. Автотранспорт в ней может не использоваться.

Пневматическая система с использованием пульпы в принципе может быть включена в общую систему обработки твердых отходов. На рис. 4.9 представлена одна из возможных схем, в которой трубопровод используется в качестве реактора для обработки твердых отходов в процессе транспортировки. Станет или нет пневматическая система с использованием пульпы конкурентоспособной в отношении системы сбора, удаления и транспортировки твердых отходов с использованием автотранспорта, зависит от ответов на четыре основных вопроса:

1) целесообразна ли технологически транспортировка твердых отходов при использовании пневматической системы с применением пульпы?



Рис. 4.9. Система сбора и удаления отходов с использованием пневматической транспортировки пульпы

2) какие экономические показатели следует положить в основу сравнения пневматической системы с применением пульпы и ныне действующей системы сбора и удаления отходов с использованием автотранспорта?

3) какой способ обработки и удаления отходов в наилучшей степени подходит для транспортировки отходов таким методом?

4) какие меры в государственном масштабе необходимо предпринять чтобы произвести желаемые изменения, и каковы будут социологические последствия этих изменений?

В настоящей главе рассмотрены некоторые из этих вопросов.

4.2.1. ВОЗМОЖНОСТЬ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУЛЬПЫ

Технологическая целесообразность использования системы трубопроводов должна быть установлена для: а) пневматического сбора и удаления отходов; б) транспортировки пульпы; в) комбинации этих систем. Как отмечалось выше, пневматический сбор и удаление твердых отходов практикуются в ряде стран. Имеющаяся информация указывает на возможность и эффективность этого метода обработки коммунальных твердых отходов. Что же касается транспортировки пульпы, то данные лабораторных исследований позволяют сделать заключение, что технологически твердые отходы целесообразно транспортировать в виде пульпы, но надежность такой системы следует дополнительно проверить в ходе промышленных испытаний.

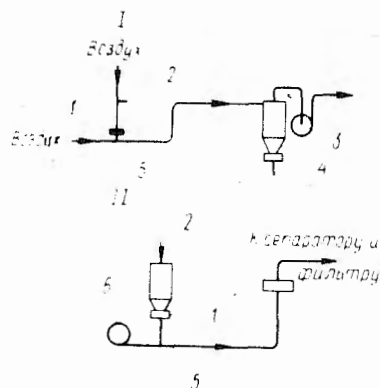
4.2.2. ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СБОРА И УДАЛЕНИЯ ОТХОДОВ

Со времени второй мировой войны этот метод транспортировки больших объемов материалов постоянно расширялся. Промышленность пластических масс обеспечила возможность развития пневматических транспортных систем вследствие удобства и гигиеничности пользования мешками для сбора и временного хранения мусора. Системы, обеспечивающие транспортировку материалов на расстояния от 150 до 300 м, являются общепринятыми в промышленности, а системы для транспортировки на расстояния до 1500 м становятся обычными [11].

Возможны два основных типа пневматических систем: 1) транспортные системы с избыточным давлением и 2) вакуумные транспортные системы. Эти два варианта систем схематически изображены на рис. 4.10. В случае вакуумной системы воздух поступает при атмосферном давлении, захватывает твердые вещества и переносит в направлении вакуумного насоса. Эта система обладает тем преимуществом, что материалы собираются из разных мест в одно общее место назначения. Фактически такая система применяется в Сандберге (Стокгольм) для сбора и удаления твердых отходов из

Рис. 4.10. Возможные варианты пневматических транспортных систем

I — вакуумная транспортная система; *II* — транспортная система с избыточным давлением; 1 — воздушный затвор; 2 — твердые отходы; 3 — воздушодувка; 4 — циклон и фильтр; 5 — трубопровод; 6 — компрессор



ряда жилых домов. В этой системе используются трубы диаметром 53—61 см. Давление, равное 0,5 атм, создается с помощью пяти вакуумных насосов, приводимых в движение электродвигателями мощностью по 100 кВт каждый.

Конструирование пневматического трубопровода для транспортировки твердых отходов включает в себя расчет энергии, требующейся для переноса отходов. Можно считать, что полные потери энергии складываются из потерь за счет сопротивления воздуха и потерь, связанных с трением твердых тел:

$$P = P_a + P_m, \quad (4.1)$$

где P — полное количество требующейся энергии; P_a — потери энергии за счет сопротивления воздуха и P_m — потери энергии, обусловленные потоком твердых материалов. P_a включает в себя потери при загрузке материалов P_{ac} , потери в трубопроводе P_{ap} , потери при отделении материалов P_{as} и потери на фильтрах P_{af} . Потери энергии в трубопроводе могут быть вычислены по формуле

$$P_{ap} = \frac{1,178 P L D v^3}{T} 10^{-8},$$

где P — абсолютное давление воздуха, кПа; L — длина трубопровода, м; D — диаметр трубопровода, м; v — средняя скорость воздуха, м/с; T — температура, К. Величина менее существенных потерь энергии P_{ac} , P_{as} и P_{af} зависит в основном от конструктивных особенностей системы. Потери энергии при загрузке малы, и ими можно пренебречь. Потери энергии при отделении материалов и на фильтрах могут быть различными и зависят от конструкции сепараторов и фильтров; эти характеристики обычно задаются изготовителем. Их можно считать умеренными, если положить, что полные потери давления за счет второстепенных причин составляют примерно 3—3,5 кПа.

Потери давления при перемещении потока твердых материалов

$$P_m = P_{ac} + P_{ap} + P_{as} + P_{af}, \quad (4.2)$$

где P_{m1} — требуемое увеличение мощности для перемещения твердых материалов, изначально неподвижных; P_{m2} — требуемое увеличение мощности для подъема твердых материалов, если это требуется конструкцией системы; P_{m3} — требуемое увеличение мощности для перемещения твердых материалов в горизонтальной плоскости и P_{m4} — второстепенные потери мощности, вызванные наличием изгибов в системе трубопроводов. Для вычисления этих потерь энергии можно использовать следующие уравнения (Вт):

$$P_{m1} = M v^2 (2 g_s \times 18,3); \quad (4.3)$$

$$P_{m2} = MH/5,3; \quad (4.4)$$

$$P_{m3} = M L F/5,3; \quad (4.5)$$

$$P_{m4} = (M v^2 / g R) l F \times 1/18,3, \quad (4.6)$$

где M — количество твердых материалов, которое должно быть перенесено, кг/с; v — средняя скорость перемещения воздуха, м/с; H — изменение высоты, м; L — расстояние, на которое перемещаются материалы, м; R — радиус изгиба, м; l — длина пути в изгибе, м; F — коэффициент, связанный с коэффициентом трения (см. ниже). Опыт Сандберга показывает, что средняя скорость воздуха для пневматических систем транспортировки должна быть примерно 25—30 м/с. По мере набора экспериментальных данных эту скорость, возможно, удастся уменьшить.

По мнению Фишера¹, коэффициент F можно принять равным коэффициенту трения между транспортируемым материалом и материалом, из которого изготовлен трубопровод. Величина этого коэффициента может быть вычислена как тангенс угла скольжения². Несмотря на то, что, как было показано, коэффициент F можно интерпретировать как коэффициент трения транспортируемых твердых материалов и при этом получают удовлетворительные и воспроизводимые результаты, использовать этот коэффициент для твердых отходов следует с осторожностью. Этот прием можно использовать только для грубых оценок требуемой мощности. Для успешного функционирования системы необходимо обеспечить большой запас надежности.

¹ Fisher J. «Practical pneumatic conveyor design». Chemical Engineering, pp. 114—118 (June 2, 1958).

² «Углом скольжения» тела является угол между горизонтальной плоскостью и наклонной плоской поверхностью, при котором тело, помещенное на эту поверхность, начинает с нее соскальзывать вниз по поверхности. Исследуемое вещество должно соскользнуть по плоской поверхности, а не по себе самому. Измерения проводятся следующим образом. Осторожно помещают некоторое количество материала на гладкую горизонтальную пластину, сделанную из того же материала, что и трубопровод, а затем один конец пластины поднимают, тогда как другой конец пластины остается на месте. Угол, при котором материал начинает соскальзывать с пластины, является углом скольжения.

4.2.3. ТРАНСПОРТИРОВКА ПУЛЬПЫ

Транспортировка твердых отходов в виде пульпы включает в себя две основные операции: 1) уменьшения размеров частиц и 2) собственно транспортировку по трубопроводу.

Вопросы уменьшения размеров частиц рассмотрены в гл. 5. Для измельчения отходов, по-видимому, целесообразно использовать молотковые дробилки. Их можно сконструировать таким образом,

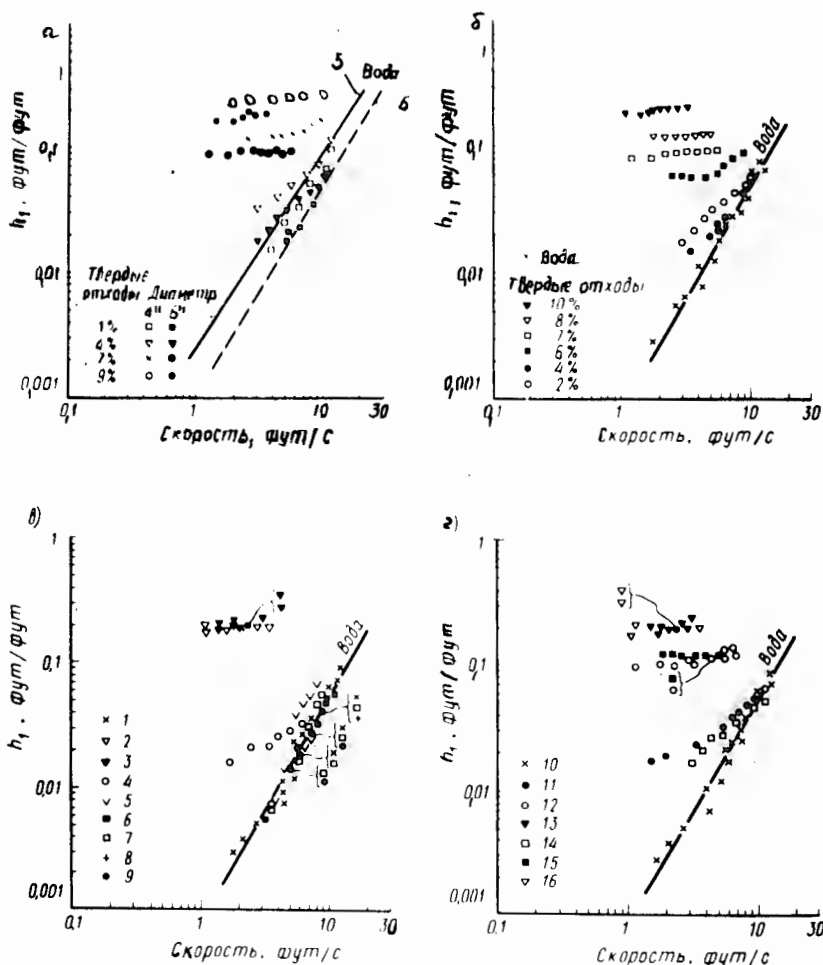


Рис. 4.11. Влияние различных параметров на величину h_1 в зависимости от скорости потока

1 — вода; 2 — 10% твердых отходов; 3 — 5,5% бумаги; 4 — 2% сена; 5 — 4% стекла; 6 — 4% песка; 7 — 4% железа; 8 — 4% золы; 9 — 6% органических соединений; 10 — вода; 11 — 2% бумаги; 12 — 4% бумаги; 13 — 5,5% бумаги; 14 — 4% твердых отходов; 15 — 8% твердых отходов; 16 — 10% твердых отходов

чтобы избежать использования большого количества переходных элементов, таких, как заслонки и арматура трубопроводов, предохраняя тем самым машину от разрушения или заклинивания. Может оказаться необходимым использование двухступенчатого процесса измельчения или применение схемы замкнутого цикла, чтобы получить частицы, размеры которых позволяют транспортировать их в виде пульпы.

На рис. 4.11 приведены значения потерь напора и другие данные для пульпы, полученной: 1) из каждого из основных компонентов твердых отходов в отдельности: бумаги, стекла, ветоши, металлов, дерева и пищевых отходов; 2) из искусственных смесей состава, соответствующего среднему составу твердых отходов в США; 3) из смеси твердых отходов, которые были получены в течение июля в центральной части г. Филадельфии; 4) из золы, полученной в печи для сжигания отходов в г. Филадельфии.

На рис. 4.11, а сравниваются данные для одного и того же материала, но при различных диаметрах труб. На рис. 4.11, б прослеживается влияние концентрации отходов, а на рис. 4.11, в показаны соотношения скоростей транспортировки основных компонентов и усредненной смеси. Как следует из данных рис. 4.11, б, при концентрации твердых отходов более 7% падение давления почти не зависит от средней скорости. Объясняется это тем, что при большой концентрации твердых отходов пульпа образует устойчивую суспензию и перемещается по трубопроводу как поршень-пробка. Перемещение такой пробки наблюдалось ранее в потоке пульпы, образованной из кусков бумаги. По-видимому, бумага и другие волокнистые материалы образуют матрицу, на которой задерживаются тяжелые компоненты твердых отходов.

На рис. 4.11, г приведены данные о падении давления при различных концентрациях твердых отходов в сопоставлении с аналогичными данными для пульпы, состоящей только из бумаги в эквивалентной концентрации. Например, давление взвеси, содержащей 10% твердых отходов, на 55% состоящих из бумаги, падает в несколько большей степени, чем пульпы с 5,5%-ным количеством бумаги. Это наблюдение составляет основу метода прогнозирования величины падения давления в трубопроводах со взвесями твердых отходов на основе данных о диаметре трубы, концентрации и составе смеси. Значение падения давления взвеси твердых отходов можно установить путем определения величины падения давления, которой следует ожидать для взвесей, содержащих только бумагу в эквивалентной концентрации. В настоящее время уже имеются эмпирические уравнения для определения этой величины.

Для пульпы, в которой доля твердого вещества достигает 11% по массе (отношение массы коммунальных отходов к массе воды)¹,

¹ Вследствие различий во влажности твердых отходов приведенное значение не совсем точно. Однако, учитывая нынешнее состояние вопроса, это значение можно использовать для предсказания величины падения давления.

падение давления h_1 (кПа на 1 м длины трубы) может быть вычислено по следующему уравнению:

$$h_1 = 96,3 \frac{Q^{0,364} C^{1,89} K}{D^{2,09}} \quad (4.7)$$

где Q — объемный расход потока суспензии, л/мин; D — внутренний диаметр трубы, м; K — значение коэффициента трения, связанного с характером бумажной макулатуры, находящейся в твердых отходах; C — доля бумажной макулатуры в твердых отходах, образующих взвесь, но не концентрация самих твердых отходов, $\frac{m}{m_0}$ по массе (например, значение C для пульпы, состоящей на 10% из твердых отходов, содержащих 55% бумаги, составляет 5,5). При конструировании системы для определения h_1 можно использовать уравнение (4.7) со значением $K = 0,446$. В целях осторожности рекомендуется пользоваться коэффициентом безопасности, равным 1,5, до тех пор, пока не будут получены дополнительные данные.

Эксперименты указывают и на другую важную особенность взвесей твердых отходов, связанную с легкостью осаждения наиболее тяжелых компонентов. Поскольку матрица из волокнистых материалов поддерживает более тяжелые компоненты, то опасность засорения трубопровода вследствие выпадения в осадок твердых частиц при малых скоростях потока ничтожно мала. В процессе работы экспериментальных линий установлено, что запуск линии спустя 24 ч после ее остановки не вызывает никаких затруднений. Это означает, что конструктора может не волновать вопрос о критическом значении скорости, необходимой для перемещения дискретных суспензий (таких, как угольная пульпа).

4.2.4. СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЛЬПЫ И НЫНЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СБОРА И УДАЛЕНИЯ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Экономическое сопоставление новой и старой технологических схем более удобно провести на ряде конкретных исследований. Переменных величин так много, что абстрактный анализ становится совершенно бессмысленным. При сравнении следует учитывать тип населенных пунктов и уровень обслуживания. Очевидно, что полностью автоматизированная система сбора и удаления твердых отходов обеспечивает такой уровень обслуживания, которого невозможно достичь с помощью нынешней системы сбора отходов, использующей автотранспортные средства. Сравнение проводилось для двух резко различающихся населенных пунктов: 1) типичного городского центра столичного района (г. Филадельфия) и 2) типичного пригорода (г. Раднор, шт. Пенсильвания). В случае транспортировки отходов по трубопроводам рассматривается возможность полностью автоматического обслуживания, тогда как при сборе отходов с применением автотранспорта имеется в виду использование частично и ручного труда.

В этих исследованиях стоимость сбора отходов с использованием автотранспорта сопоставляется со стоимостью проектируе-

мых систем трубопроводов в несколько этапов. На первом этапе была установлена стоимость текущего сбора и удаления отходов, получаемых в изучаемом районе. Имея эти данные о стоимости действующей системы в 1968 г., определена предположительная стоимость этих работ в будущем. На втором этапе была спроектирована система транспортировки отходов по трубопроводам и оценена ее стоимость. Наконец, была проведена оценка предполагаемого экономического эффекта в сравнении со стоимостью эксплуатации ныне существующей системы.

Городской центр г. Филадельфии. Данное исследование охватывает 8,3 км², что составляет около 2,5% всей площади города. Этот район был выбран для исследования, в первую очередь, потому, что его границы практически совпадают с границами при переписи и городскими маршрутами машин, собирающих твердые отходы. В этой части г. Филадельфии находится центральный торговый район со многими торговыми предприятиями. Здесь же имеется большой жилищный фонд преимущественно в виде небольших квартир. Население исследуемого района составляет 48 000 чел., примерно 2,3% от всего городского населения.

Система сбора и удаления отходов в этой части города включает в себя работы, выполняемые как муниципальными, так и частными организациями (крупные и громоздкие отходы, особенно автомобили, удаляются частными торговцами утилем). Городские организации собирают буквально все отходы, производимые горожанами и городскими предприятиями, используя свой собственный транспорт, или по контрактам с частными сборщиками отходов.

В исследуемом районе некоторые производственные предприятия, крупные оптовые торговые организации, торговые компании и жилые дома пользуются услугами частных сборщиков отходов. Для центральных районов г. Филадельфии эта часть работ по сбору отходов значительно больше, чем работы по сбору отходов, осуществляемые городскими организациями. В табл. 4.10 приведены суммарные данные, полученные в процессе исследования¹.

Стоимость работ при существующей системе. Так как экономический эффект от использования новой системы с трубопроводами должен быть отнесен к будущим ежегодным расходам, то была выполнена экстраполяция стоимости работ при ныне существующей системе сбора отходов на следующие 50 лет. Ежегодные расходы по работам с использованием существующей системы в 1968 г. были определены на основе данных, представленных городскими организациями, и данных, полученных в результате выполненных исследований. Расходы увеличиваются вследствие роста количества твердых отходов (в расчете на одного человека не более чем на 2% в год), к этому добавляются некоторые изменения в оплате труда и в количестве жителей, что приводит предположительно к повышению расходов на 4% в год (согласно

¹ Heyden, J., Seidenstat, P. and Zandi, I. Solid waste generation and cost in center city of Philadelphia. Environment Letters, 1-3, 1971, pp. 173-190.

Таблица 4.10. Количество твердых отходов и стоимость сбора отходов с использованием автотранспортных средств

Показатели	г. Филадельфия			г. Раднор		
	муници- пальные органи- зации	частные органи- зации	всего	муници- пальные органи- зации	частные органи- зации	всего
Количество отходов в 1968 г., тыс. т	60,14	193	253	—	—	30,2
Стоимость сбора отходов в 1968 г., млн. долл.	0,9	1,3	2,2	0,19	0,22	0,41
Количество отходов в планируемые 50 лет, тыс. т	161,9	519,9	681	—	—	71,3
Полная стоимость за планируемые 50 лет при ценах 1968 г., млн. долл.	27,6	39,92	67,5	5,9	6,8	12,7

Примечание. Данные относительно деятельности частных организаций в обследованном районе г. Филадельфии мало надежны. Данные для муниципальных организаций не включают ни стоимости удаления отходов, ни стоимости сбора и удаления громоздких отходов, количество которых в 1968 г. составило 4150 т и за планируемый период (50 лет) должно возрасти до 11 000 т. Стоимость оценена с учетом годового прироста 4%.

оценкам городских организаций, объем собираемых городских отходов в последние годы возрастал примерно на 2—3% в год). Были определены и годовые расходы на каждый год из 50 последующих лет. Эти значения годовых расходов были затем уменьшены из расчета прироста на 6% в год и приведены к уровню 1968 г., а затем просуммированы с целью определения прямого экономического эффекта, ожидаемого от новой системы.

Данные о ежегодных расходах по сбору отходов частными сборщиками отходов были получены из обзора Хейдена². В этом случае также предполагается, что расходы ежегодно возрастают на 4%, и на этой основе результаты были вновь пересчитаны с учетом прироста в 6% в год с тем, чтобы преобразовать полученные величины к их нынешнему значению на следующие 50 лет. Оба результата были просуммированы и представляют, таким образом, полные расходы на сбор и удаление отходов в исследованном районе в течение последующих 50 лет. Для сравнения были выбраны три района транспортировки отходов, расположенных на расстояниях 0;35 и 80 км от границ изученного района (табл. 4.11).

² В отчете предполагается, что городскими организациями г. Филадельфии собираются твердые отходы в количествах, на 9% отличающихся от действительных величин, полученных на основе данных санитарного управления.

Т а б л и ц а 4.11. Проектная стоимость сети трубопроводов, млн. долл.

Статьи затрат	г. Филадельфия			г. Раднор					
	Расстояние до места удаления отходов, км			Схема 1			Схема 2		
				Расстояние до места удаления отходов, км			Расстояние до места удаления отходов, км		
	0	35	80	0	35	80	0	35	80
Трубы	25,2	30	37,1	20,6	23	26,6	26,6	23	26,6
Воздушные затворы и арматура	68,02	68,02	68,02	20,16	20,16	20,16	9,24	9,24	9,24
Дробилка и насос	2,08	2,08	2,08	1	1	1	0,9	0,9	0,9
Вакуумные насосы и фильтры	0,97	0,97	0,97	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Насосы для пульпы, вакуум-насосы или воздуходувки	1	1,39	2,03	1	1,31	1,84	1	1,31	1,84
Эксплуатация	10,17	12,1	14,2	2,38	2,48	2,56	2,38	2,48	2,56
Обслуживание	18,48	18,84	19,41	7,62	7,78	8,1	4,9	5,08	5,37
Дополнительный сбор крупногабаритных предметов (20 долл/т)	3	3	3	1	1	1	1	1	1
Общие затраты	128,9	136,4	146,8	54,31	57,3	61,81	41,67	44,66	49,16

Стоимость эксплуатации системы трубопроводов. Для сравнения была выбрана схема, представляющая собой сочетание пневматических трубопроводов и трубопроводов для транспортировки пульпы. Пневматическая система может использоваться для сбора в четырех пунктах всех твердых отходов, получаемых от отдельных строений всего исследуемого района. Затем в каждом из этих пунктов твердые отходы смешиваются с водой из канализационной системы (несколько процентов от всего количества сточных вод) и образуется 6%-ная взвесь. Эта смесь затем подается в измельчитель и дезинтегратор волокнистых материалов. Последний создает достаточный напор для транспортировки пульпы к периферийным устройствам системы, от которых она может быть перекачана на любое требуемое расстояние. Пневматическая часть системы спроектирована в основном так же, как система, уже действующая в Сандберге (Швеция).

Стоимость систем трубопровода определялась с некоторым завышением. Учитывались все расходы, включая стоимость установок, эксплуатации и обслуживания. Были выбраны три района сброса отходов, отстоящие на 0, 35 и 80 км от границ исследуемого района (табл. 4.11). Сопоставление выполнено за расчетный период 50 лет (после 1968 г.) (табл. 4.12). Согласно сделанным оценкам, г. Филадельфия израсходует на сбор и удаление на расстояние примерно 80 км того количества твердых отходов, которое будет образовано в исследуемом районе в течение следующих 50 лет, примерно 153,2 млн. долл. в виде прямых затрат. За тот же период стоимость эксплуатации трубопроводов для удаления твердых отходов на расстояние примерно 80 км составит, по оценкам, 146,8 млн. долл. Эти результаты показывают, что транспортировка твердых отходов по трубопроводам с экономической точки зрения конкурентоспособна с нынешней системой, использующей сбор отходов с помощью автотранспорта, даже если не рассматривать побочные преимущества системы трубопроводов.

г. Раднор. Рассматриваемый район занимает площадь примерно 36,3 км², на которой расположены, в основном, пригородные жилые районы — приблизительно 7100 земельных участков. Население района составляет 30 000 чел. Общая протяженность улиц в исследуемом районе около 185 км. Полное количество полученных в 1968 г. твердых отходов и стоимость их сбора с использованием автотранспорта приведены в табл. 4.10.

Сопоставление экономических показателей при сборе отходов с использованием автотранспорта и системы пневматической транспортировки пульпы по трубопроводам выполнено тем же методом, который был применен для оценки при рассмотрении района городского центра Филадельфии. Были исследованы две системы пневматической транспортировки пульпы — схемы 1 и 2, различающиеся расположением установок пневматических систем. Согласно схеме 1, все отдельные дома, содержащие по пять квартир, и каждое учреждение должны иметь по отдельному мусороприемнику. По схеме 2 предполагается, что каждые четыре дома, содержащие

Таблица 4.12. Сбор отходов с помощью системы трубопроводов или с использованием автотранспорта
(стоимость и прибыль, млн. долл.¹⁾)

	Расстояние до места удаления отходов, км	Метод сбора отходов	г. Филадельфия	г. Раднор	
				Схема 1	Схема 2
Современные технологические возможности (системы могут быть созданы в настоящее время)	0	Автотранспорт Трубопровод ¹⁾	67,5 128,9	12,7 54,31	11,7 41,7
	35)	Автотранспорт Трубопровод ¹⁾	100,6 136,4	15,3 57,3	15,3 44,7
	80)	Автотранспорт Трубопровод ¹⁾	153,2 146,8	19,3 61,81	19,3 49,16
Частичное усовершенствование (дробилок и насосов и уменьшение стоимости разгрузочных устройств благодаря их массовому производству)	0	Автотранспорт Трубопровод ¹⁾	67,5 105,6	12,7 47,6	12,7 39,4
	35)	Автотранспорт Трубопровод ¹⁾	100,6 112,7	15,3 50,6	15,3 41,4
	80)	Автотранспорт Трубопровод ¹⁾	153,2 122,6	19,3 54,1	19,3 45,9

¹⁾ В этом сравнении не учтены дополнительные преимущества систем трубопроводов

²⁾ Предполагается снижение на 25% стоимости воздухоулов, насосов-дробилок и разгрузочных вентилей (вакуумных клапанов)

³⁾ Предполагается, что использование автотранспорта обходится примерно в 3 цента тонна-километр, а количество твердых отходов возрастает на 2% в год.

⁴⁾ Эти данные включают расходы на сбор громоздких отходов, что составит в следующие 50 лет 3 млн. долл. (исходя из стоимости сбора таких отходов 20 долл. т).

по 15 квартир, и каждое учреждение имеют по мусороприемнику. Из данных табл. 4.12 очевидно, что для жилых пригородов, подобных г. Раднору, пневматическая транспортировка твердых отходов примерно вдвое дороже, чем сбор отходов с использованием автотранспорта.

Подобных результатов следовало ожидать, учитывая особенности двух рассмотренных населенных пунктов и характерные черты систем пневматической транспортировки взвесей. Транспортировка по трубопроводам становится экономически целесообразной, когда имеется большое количество транспортируемых материалов. В центре г. Филадельфии производится почти в 40 раз больше твердых отходов, чем в г. Радноре. В г. Радноре 185 км дорог, тогда как в центре г. Филадельфии их 115 км. Из этого рассуждения ясно, что система трубопроводов в г. Радноре менее полезна. Хейден в качестве критерия для приближенной оценки экономической целесообразности пневматической транспортировки пульпы по трубопроводам предлагает использовать «фактор полезности», определяемый как частное от деления количества твердых отходов, производимых за год (тонны), на общую длину трубопроводов, которые должны быть установлены в данном районе (мили). Для городского центра Филадельфии этот фактор полезности составляет 2400 т/милю в год, тогда как для г. Раднора он равен 315. Если основываться на интуитивных представлениях, то можно предположить, что система пневматической транспортировки пульпы экономически целесообразна в случае, если фактор полезности составляет 1000 или больше.

Приведенные в табл. 4.12 данные о стоимости системы трубопроводов позволяют предполагать, что эта система перспективна. Экономичность предполагаемой системы очевидна. Исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. С помощью пневматической системы транспортировки пульпы нельзя «обрабатывать» громоздкие предметы. Со стороны городских властей дополнительно требуются небольшие затраты по организации сбора отходов с использованием автотранспорта. Эти дополнительные расходы учтены в анализе экономических аспектов проблемы.

2. В продаже имеются крупные установки для измельчения отходов. С помощью этих установок можно дробить предметы, собираемые в пневматические трубопроводы, а также громоздкие предметы, которые не могут транспортироваться по трубопроводам. В этом случае большие предметы можно было бы транспортировать на небольшие расстояния до ближайшей дробильной установки.

3. Побочные преимущества системы трубопроводов (такие, например, как неудобство пользования ныне существующей системой сбора отходов), которые делают ее еще более привлекательной, не рассматривались при сравнении двух систем. Кроме того, не учитывалась проблема удаления отходов. Очевидно, что существует четкая связь между системой сбора и методом удаления отходов.

Нет никаких сомнений, что если верх возьмет система сбора и удаления твердых отходов с использованием трубопроводов, то произойдут изменения и в методах сброса.

4. В настоящее время проявляется тенденция сохранения и повторного использования твердых отходов, а поскольку большинство методов утилизации вторичного сырья предусматривает применение машин для измельчения отходов, то вполне возможно, что дробление, необходимое для их транспортировки по трубопроводам, могло бы стать первой стадией процесса утилизации отходов. Следует тщательно изучить влияние пульпы на воздушную и водную среды.

5. Важнейшим побочным преимуществом транспортировки твердых отходов по трубопроводам является свобода в выборе места сброса отходов. Результаты упомянутого выше исследования показывают, что чем больше расстояние до места сброса отходов, тем экономически целесообразнее транспортировка их по трубопроводам. Это обстоятельство особенно важно, учитывая возрастающий дефицит подходящих земельных участков вблизи населенных пунктов.

6. Определенная в исследовании скорость ежегодного прироста «производимых» твердых отходов в изученном районе (2%) значительно меньше, чем предусматриваемая в других источниках. Это позволяет еще выше оценить преимущества транспортировки отходов по трубопроводам. Чем большее количество отходов должно обрабатываться, тем меньше расходы по эксплуатации системы трубопроводов в расчете на 1 т отходов; стоимость же удаления отходов с использованием автотранспорта пропорционально возрастает.

7. Потенциально существенным преимуществом системы трубопроводов для твердых отходов является возможность достижения высокой эффективности вследствие экономии, обусловленной ростом масштаба работ. Обширные районы с большим населением могут быть связаны сетью трубопроводов, действующих как часть единой системы. Масштабы работы будут оправдывать содержание высококвалифицированного обслуживающего персонала и применение наиболее прогрессивной технологии. Маленькие города, которые в настоящее время не могут себе позволить заняться подготовкой рабочей силы и терпят убытки из-за отсутствия необходимых знаний у обслуживающего персонала, смогут легко присоединиться к более крупной группе по сбору отходов.

4.3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОТХОДОВ

В. Дж. Джонсон

Механическая обработка отходов, по-видимому, представляет наиболее важную проблему при проектировании любой эффективной системы их обработки. Эффективность работы таких специали-

зированных устройств, как дробильные машины, прессы-подборщики, печи для сжигания отходов и т. п., прямо зависит от методов их загрузки и разгрузки. Хорошо продуманная система организации потоков отходов — основное, наиболее важное условие проектирования любой установки. До совсем недавнего времени на обработку твердых отходов обращали очень мало внимания, и это приводило к тому, что установки, во всех остальных отношениях отвечающие предъявляемым к ним требованиям, не могли работать на всю мощность вследствие неудачной конструкции оборудования для механической обработки отходов.

Если квартиросъемщик или сборщик разделяет отходы для более простой их обработки в дальнейшем по типам материалов (например, бумажная макулатура, древесные отходы и т. д.), то оборудование для обработки отходов должно быть сконструировано с таким расчетом, чтобы его можно было использовать в широкой области — от магазинных сумок до крупных предметов. Если же есть гарантия, что громоздкие предметы не могут попасть на установку, то конструирование оборудования для обработки отходов значительно упрощается. К сожалению, по тем или иным причинам эти более крупные предметы неизбежно появляются в кузове мусоровоза.

Сами отходы при обработке ведут себя необычным образом, так как в них содержится слишком много различных предметов и они не сохраняют ни одной из характеристик исходных материалов. Они имеют угол естественного откоса 90° или больше, и, хотя это само по себе является положительным фактором и может благоприятно сказываться при складировании отходов в виде пирамид, возникает множество проблем при перемещении достаточно больших масс отходов. Любое препятствие на пути потока отходов приводит к искривлению этого потока и созданию заторов. Обработывающие системы должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечивалось прямое или свободное перемещение потока отходов.

Свойства твердых отходов меняются также в зависимости от времени года. В тех населенных пунктах, в которых климатические условия меняются в широких пределах, требуется предварительное исследование характеристик отходов в любое время года.

Механическая обработка отходов распадается на три основные операции; сбор; загрузку; транспортировку и разгрузку. Такие механизмы, как погрузчики и бульдозеры, могут, конечно, работать и на сборе и на разгрузке¹.

4.3.1. СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ОТХОДОВ

Системы пневматических трубопроводов. Пневматическое транспортирование отходов является техническим решением, которое

¹ Обычное оборудование для сбора и транспортировки отходов в русском издании не рассматривается. (Примеч. науч. ред.).

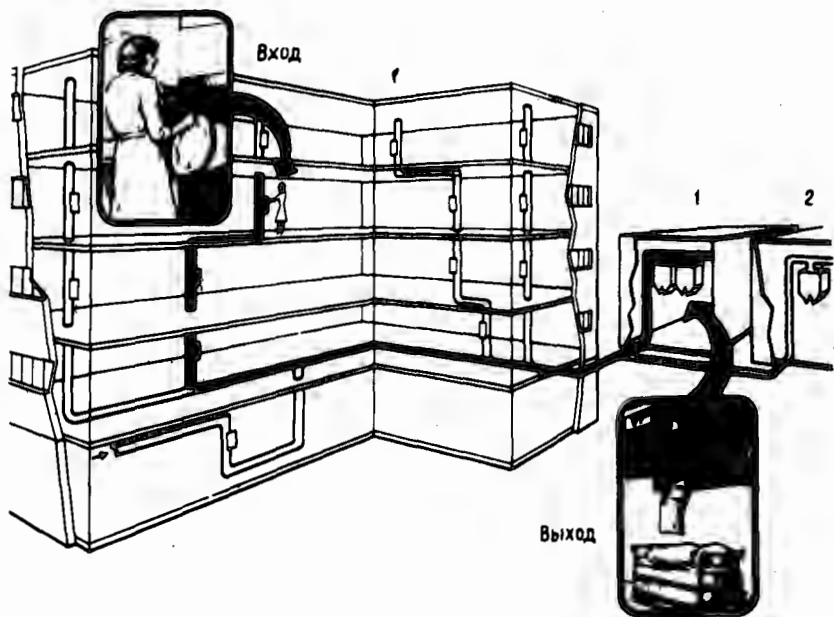


Рис. 4.12. Пневматическая система трубопроводов для транспортировки и удаления отходов (с разрешения «Истерн сиклон индастриз, инк.»)

1 — белье; 2 — отбросы

первоначально было предложено в Швеции (рис. 4.12 и первые разделы этой главы). Сначала применение этой системы было ограничено схемой сброски отходов в районах жилых комплексов и в больницах. Скорость транспортирования отходов воздушным потоком достигает 25 м/с.

Системы гидравлических трубопроводов. Система Гаши впервые была применена в Париже в 1927 г. Фактически она представляет собой устройство для впуска сильной струи воды и довольно крупных предметов (газеты, бутылки, банки), которые со струей воды попадают в систему сбора отходов. Это устройство заменило собой обычный спуск воды и слив раковины. Твердые предметы переносятся водой к подземной камере коллектора, которая может регулярно опорожняться в специальную цистерну. Слив из камеры поступает в обычную канализационную систему.

Более позднее развитие этого принципа состоит в измельчении материала, который в виде пульпы подается в спускное устройство. Однако это усовершенствование наложило ограничения на материалы, которые могут быть обработаны таким способом. Корпорации «Возкон» и «Сомет» создали системы этого типа. Пульпа, содержащая отходы, поступает в отжимную центрифугу, в которой неразстворимые отходы спрессовываются на сетках и переносятся в контейнер для сбора в компактном виде типа полусухой пульпы

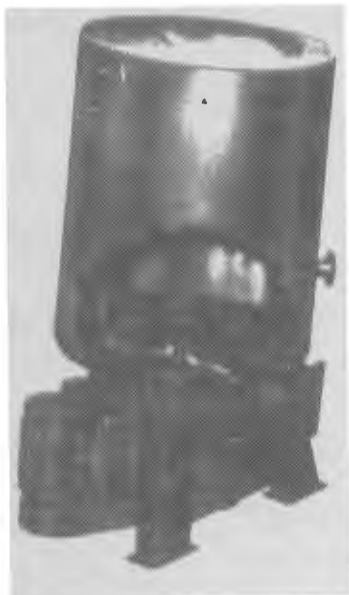


Рис. 4.13. Отжимная центрифуга для обработки отходов в виде пульпы (с разрешения "Сомет корп.")

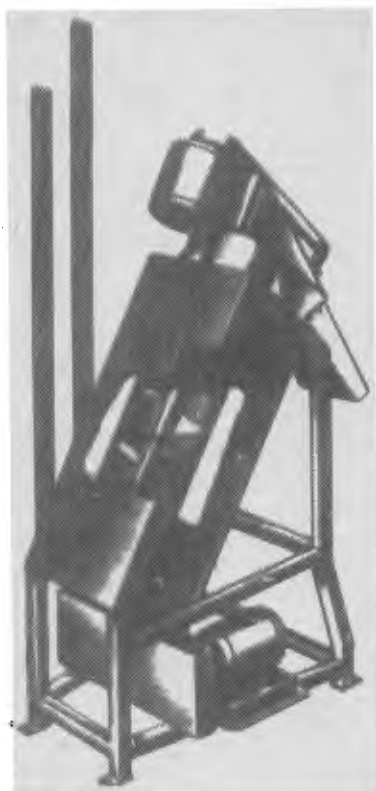


Рис. 4.14. Пресс для пульпы, содержащей отходы (с разрешения "Возкон системс, инк.")

(рис. 4.13 и 4.14). Эти системы, очевидно, больше подходят для отходов, полученных при обработке пищевых продуктов, включая молочные пакеты, пластиковые столовые приборы и т. п., но не для таких громоздких отходов, как газеты и журналы, которые следует разорвать на мелкие части перед тем, как они попадают в сливное устройство.

4.3.2. СИСТЕМЫ РАЗГРУЗКИ ОТХОДОВ

Контейнеры. В отличие от других материалов необработанные отходы не могут храниться длительное время по гигиеническим соображениям. Правила безопасности требуют, чтобы отходы перерабатывались в течение 24 ч с момента их поступления на установку. По этой причине нельзя хранить необработанные отходы в больших количествах. Практически наиболее крупными стационарными контейнерами, используемыми для упаковки, являются бункера, которые помещаются в закрытые емкости объемом примерно

6 м³, что соответствует требованиям правил перевозок по авто-трассам (рис. 4.15). Вследствие свойств отходов использование таких бункеров проблематично.

Хранение отходов. Сваливание необработанных отходов в кучу порождает проблемы, связанные с гигиеническими требованиями, которые упоминались выше при рассмотрении вопроса о хранении отходов в контейнерах. Если отходы сравнительно быстро могут быть перемещены из кучи краном, черпаком или бульдозером в место их земляной засыпки или на установку для переработки отходов, то хранение отходов в кучах может оказаться экономически целесообразным. Обычно такой метод применяется на временных открытых площадках перегрузочных станций в промышленных районах, где вид необработанных отходов не вызывает особых возмущений.

Разработка в пределах выделенных границ участка. Необработанные отходы трудно разместить в четко очерченных границах с небольшими отклонениями от заданной формы. Вследствие оседания засыпки со временем она приобретает неровную поверхность. Обычно экономически нецелесообразно или противоречит правилам строительства на площади, занятой отходами, каких-либо больших сооружений, для чего могли бы потребоваться жесткие допуски на окончательные размеры и форму засыпки. Однако для всех практически разумных целей может быть достигнута достаточная степень точности, чтобы на законченной земляной засыпке можно было разбить парки или создать площадки для игр. Опытные операторы земляной засыпки, зная состав засыпанных отходов, могут спланировать площадку с достаточной степенью точности. Размолотые отходы значительно легче использовать для точной планировки, так как они представляют собой существенно более однородный материал. Размолотые отходы с успехом можно применять для временных покрытий дорог и для более точного окончательного выравнивания участков земли, используемых для устройства беговых дорожек и теннисных кортов.

Складирование брикетов. В последние годы получила распространение новая идея в обработке твердых отходов — создание брикетов высокой плотности. Для того чтобы максимально использовать преимущества уплотненных брикетов, их необходимо укладывать слоями на ровной поверхности.

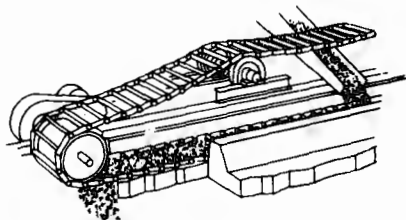


Рис. 4.15. Скребковый конвейер (с решением "Рекс чейнбелт, инк.")

Метод механической обработки твердых отходов требует более интенсивных исследований по сравнению с другими современными методами обработки материалов. Большинство средств обработки и транспортировки отходов заимствовано из других отраслей промышленности. Бульдозеры наиболее часто используются в строительстве, а ленточные и пластинчатые конвейеры, подвесные краны усовершенствовались одновременно с развитием других отраслей промышленности. Применение этого оборудования без модификации для обработки твердых отходов не всегда приводит к желаемым результатам. Требуется эксперименты по использованию вибрационных устройств, необходимо создать хопперы и конвейеры с вибраторами для обработки громоздких отходов и их дальнейшего разделения. Создание высокоскоростных конвейерных систем также представляет собой область, которая должна быть изучена. При высоких скоростях могут быть использованы автоматические разделители. Пневматическая транспортировка отходов, как отмечалось ранее в этой главе, также перспективна для обработки отходов.

Поскольку в будущем важное значение должно приобрести использование твердых отходов в качестве вторичного сырья, то вид и размеры отходов, поступающих на любые установки для обработки, могут существенно измениться. Устранение многих трудностей обработки отходов может значительно облегчить проектирование соответствующих установок.

Оборудование для механической обработки отходов при любой системе их сбора должно проектироваться как единое целое. Любые затруднения в перемещении отходов или их задержка в какой-либо точке почти наверняка вызывают затор, и поэтому конструкция оборудования должна, насколько это возможно, обеспечивать беспрепятственное движение потока.

Глава 5. ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ: БРИКЕТИРОВАНИЕ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ

5.1. УПЛОТНЕНИЕ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И БРИКЕТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

К. Вольф и Х. Сосновски

5.1.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Общие перспективы развития процессов обработки твердых отходов. Переработка каких-то количеств твердых отходов представляет собой не более чем «хранение» выброшенных материалов.

В этом смысле сжигание, например, может быть определено как такое превращение вещества, при котором часть его переходит в воздух в виде газов (полезных, инертных или вредных), тогда как другая часть сохраняется на земле в виде твердого остатка. Этот факт «физического хранения» в практике удаления твердых отходов не подкрепляется, однако, экономическими показателями, соответствующими физическому сохранению веществ или материалов, которые имеют ценность и перспективы использования. Отходы не имеют стоимости, и никого не беспокоит, что происходит с ними впоследствии (остаются ли в своем изначальном состоянии или изменяются) до тех пор, пока они не начинают мешать жизни, — тогда возникает вопрос об эффективном сохранении окружающей среды.

Особенности, связанные с физическими процессами и состоянием окружающей среды. При переработке мусора необходимо: 1) обрабатывать возможно большее количество различных типов смесей твердых отходов (например, бытовых, торговых и общих промышленных, включая «негабаритные»); 2) избегать процессов, в результате которых из исходных материалов будут выделяться вредные вещества, что может потребовать нередко довольно дорогих дополнительных технологических операций их обезвреживания; 3) обеспечивать наиболее эффективное как качественное, так и количественное использование земельных площадей, требуемых для окончательного и промежуточного хранения отходов, особенно в тех местах, где такие участки особенно дороги; 4) облегчать эксплуатацию и заполнение, а также обеспечивать безопасность, техническое обслуживание и эффективный контроль за участками хранения.

Особенности, связанные с аппаратурным оформлением технологических процессов. При аппаратурном оформлении процессов переработки необходимо: 1) упрощать технологию (например, одноступенчатый процесс лучше, чем многоступенчатый); 2) способствовать упрощению всей системы удаления твердых отходов (например, устранению каких-либо предварительных или последующих операций); 3) сводить к минимуму необходимость в квалифицированном (и высокооплачиваемом) обслуживающем персонале; 4) базироваться на проверенных возможностях используемого оборудования и технологических процессов; 5) использовать такие технологические приемы, чтобы свести к минимуму возможность ущерба и несоблюдения регламента технологических процессов переработки и утилизации материалов.

Особенности, связанные с экономическими характеристиками и управлением системой обработки. При разработке процессов необходимо: 1) иметь лучшие (или, по крайней мере, конкурентоспособные) экономические характеристики по сравнению с существующими; 2) обеспечивать такую себестоимость, которая в наименьшей степени чувствительна как к кратковременным, так и к долгосрочным повышениям цен; 3) способствовать усилению работ по переработке твердых отходов, включая мелиорацию земель;

4) не «рассеивать» ресурсы, которые в настоящее время считаются вторичными.

Любой рассматриваемый процесс, как правило, имеет свои преимущества и недостатки, но необходимо руководствоваться главным — в какой мере он обеспечивает сохранность окружающей среды и каковы экономические характеристики производства. Процессы прессования и брикетирования в сравнении с другими методами обработки отходов имеют несомненные преимущества.

Обоснование преимуществ уплотнения высоким давлением по сравнению с другими методами обработки твердых отходов. При обосновании преимуществ различных методов обработки твердых отходов следует принимать во внимание как свойства материала, так и токсикологические параметры. В процессе этих обоснований (и выборе соответствующего процесса) были оценены химические и физические методы преобразования веществ. Химические методы требуют либо развития новой дорогостоящей технологической схемы либо дорогостоящих методов контроля окружающей среды. Кроме того, химические методы преобразования веществ в принципе представляются более подходящими не для достижения конечных целей процесса удаления отходов, а для рециркуляции вторичного сырья.

С другой стороны, методы физической обработки (например, уменьшение объемов и уплотнение) предусматривают изменение размеров и формы данных продуктов или материалов, но они не разделяют материалы или продукты сложного состава на составляющие.

Соответствие процесса прессования техническим требованиям к процессу уменьшения объема твердых отходов обусловлено специфической природой и состоянием поступающих материалов. Независимо от того, являются ли они сухими или влажными, твердые отходы представляют собой большей частью двухфазные системы — твердые частицы и пустоты. Пространство, заполненное воздухом, как правило, во много раз больше пространства, занятого твердыми частицами. Таким образом, только за счет удаления этих пустот может быть достигнуто очень значительное уменьшение объема. Если бы в процессе обработки отходов были удалены все пустоты, то твердые частицы заняли бы минимальный возможный объем и образовали блок с наивысшей плотностью, которая может быть физически достигнута. Эта максимальная плотность данного брикета из твердых отходов определяется при этом исключительно относительной плотностью слагающих их материалов. Желательно использовать такой метод обработки, который предусматривает удаление всех или большинства пустот, находящихся в смесях твердых отходов, и преобразует неплотные смеси веществ в компактные брикеты.

Удаление пустот при уплотнении зависит от приложенного давления: чем оно больше, тем меньше остается пустот. Давление прикладывается до тех пор, пока твердые частицы не спрессуются вместе настолько плотно, что сформируют твердый брикет. Эта

способность отдельных частиц, составляющих смеси твердых отходов, держаться вместе даже после того, как давление снято (и без добавления связующих или скрепляющих компонентов), обеспечивает требуемое устойчивое уменьшение объема, т. е. образование стабильных прочных и компактных брикетов.

5.1.2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В 1968—1969 гг. городскими организациями Чикаго и исследовательским фондом Американской ассоциации общественных работ была выполнена экспериментальная программа, предусматривающая определение основных исходных технических параметров,

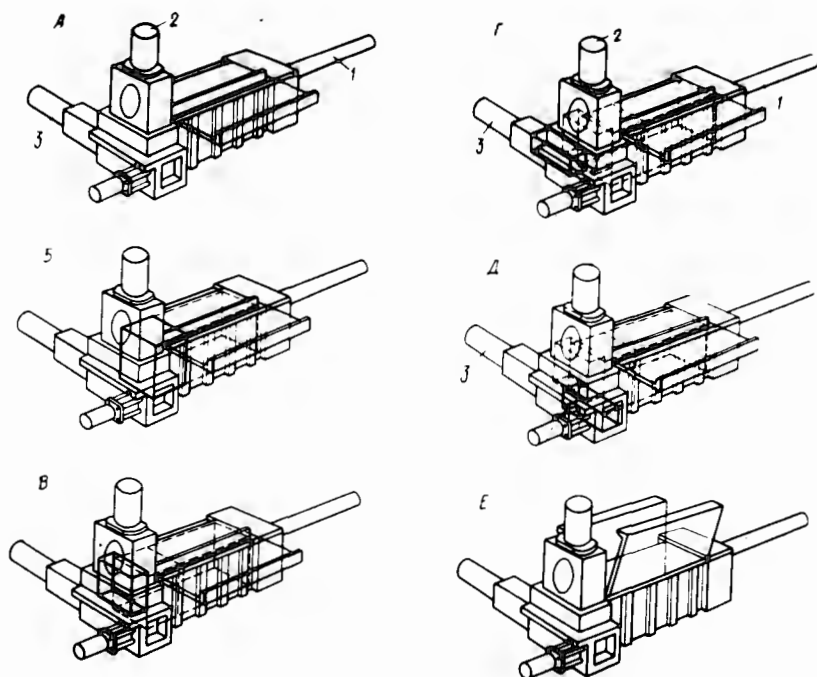


Рис. 5.1. Схема работы трехпоршневого пресса (с разрешения «Американ Хойст энд Деррик»), используемого фирмой «Американ Хойст энд Деррик» для удаления твердых отходов. Новая схема разработана отделением компании «Американ солид весте системз». При полностью загруженном приемнике и опущенной вниз крышке хоппера *А* необработанные отходы, включая негорючие материалы, спрессовываются с трех направлений: *Б*, *В*, *Г* в твердые брикеты заданных размеров, массы и плотности. Готовый брикет автоматически выбрасывается из пресса *Д* и начинается новый цикл: открывается крышка хоппера, и с конвейера подается следующая партия отходов *Е*

А — приемник заполнен, крышка опущена; *Б* — работает первый поршень; *В* — работает второй поршень; *Г* — работает третий поршень; *Д* — открывается заслонка, брикет выбрасывается, хоппер заполняется; *Е* — начало цикла — из хоппера отходы поступают в приемник; 1—3 — номера поршней

требующихся для осуществления экономически оправданного процесса брикетирования твердых отходов.

Опытный пресс для уплотнения отходов. Эксперименты по уплотнению отходов были выполнены с использованием трехпоршневого гидравлического пресса для брикетирования металлолома, предназначенного для «Дженерал моторс» (рис. 5.1). Сечение камеры составляло примерно 40×50 см. Первые два поршня в основном собирали твердые отходы и уплотняли их под действием давления соответственно 650 и 3950 кПа. Конечное уменьшение объема достигалось с помощью третьего поршня (высокого давления) при давлениях, которые могли меняться в интервале от 0 до 24 150 кПа. Кроме того, было создано регулировочное устройство уплотнительной камеры; с его помощью можно было уменьшать площадь, на которую передавалось давление третьего поршня. Это дало возможность прессовать образцы при давлениях до 41 350 кПа. Свойства брикетов, обусловленные характеристиками уплотненных материалов (например, плотность, упругое последствие), связаны, главным образом, с различиями в соотношении размеров уплотнительной камеры и приложенного давления при различных методах уплотнения.

Материал для испытаний. Способность бытовых отходов к уплотнению была исследована на большом наборе образцов, содержащих: а) смеси бытовых отходов, собранные в жилых домах; б) смеси бытовых отходов, собранные в тех же домах, но дополнительно измельченные; в) специально подготовленные для исследования искусственные смеси отходов. Чтобы проследить влияние различий в методах сбора отходов, уплотнению были подвергнуты отходы, доставленные: в рыхлом виде; в бумажных и пластиковых мешках; вместе с крупногабаритными отходами.

Состав исследуемых образцов. Состав смесей бытовых отходов, за исключением измельченных, соответствовал составу отходов г. Чикаго, собранных зимой и ранней весной. В зимних отходах было обнаружено около 70% (по массе) бумаги (вместе с адсорбированной влагой) и менее чем по 7% отходов любого иного вида. Содержание влаги менялось — исследовался материал от очень сухого до очень влажного. Весенние отходы были влажными и содержали примерно 17% дворового мусора, около 47% бумаги и большее, чем в зимних отходах, количество дерева, стекла и металлов.

Состав искусственных смесей сильно колебался. Некоторые из них отражали средний состав городских отходов США, другие представляли собой отходы одного типа или смеси различных отходов. Для изучения влияния на уплотнение влажности исследовали образцы из смеси бумаги с определенными количествами воды, а также образцы, содержащие различные количества древесных отходов. Характеристики упругого последствия и свойств адгезии упругих и неупругих материалов были получены на образцах таких

отходов, как резиновые покрышки, пружины от кроватей, бумага, металлы, стекло, пластмассы, дерево, зола и опилки.

Плотность отходов до уплотнения. Плотность рыхлых смесей бытовых отходов колеблется в интервале примерно от 61 до 254 кг/м³. Наиболее высокая плотность отмечена у очень влажного образца, наиболее низкая плотность — у очень сухого. Поскольку поглощенная влага, естественно, увеличивает массу твердых веществ, то разумно было предположить, что основной причиной повышения плотности является рост содержания воды в отходах. Однако результаты, полученные при исследовании процесса уплотнения, показали, что это не так. Образцы, характеризующиеся более высокой плотностью, независимо от того, являлись ли они сухими или влажными, имели заметно меньшие объемы пустот, чем образцы с меньшей плотностью. Это свидетельствует, что плотность, в основном, зависит от объема пустот.

Вариации значений плотности компонентов, содержащихся в образцах бытовых отходов, были определены экспериментально путем измерения плотности брикетов. Как правило, изменение плотности твердых отходов различного состава, включая зимние и весенние, а также сухие и влажные, не превышает 30% (табл. 5.1). В противоположность этому содержание пустот в образцах рыхлых отходов, определенное путем измерения максимального уменьшения объемов, достигало 300%.

Уменьшение объема и увеличение плотности в камере уплотнения. Уменьшение объема и связанное с ним увеличение плотности были определены как при передаче давления в уплотнительную камеру, так и вне ее, после снятия давления с материалов.

Объем всегда заметно больше уменьшался при уплотнении в камере, чем при уплотнении вне ее, для всех образцов, содержащих такие волокнистые и упругие материалы, как бумага, резина, пластмассы и растительные отходы. Так как материалы этого типа по своей массе составляют более половины содержания смесей

Таблица 5.1. Плотность рыхлых бытовых отходов

Отходы	Плотность, кг/м ³		
	максимальная	минимальная	средняя
Зимние влажные бытовые отходы (рыхлые)	254,4	113,6	168
То же, сухие	176	60,8	121,6
Весенний влажный мусор от уборки (рыхлый)	212,8	88	128
Бытовые отходы в бумажных мешках	161,6	76,8	115,2
Измельченные бытовые отходы	176	131,2	153,6

бытовых твердых отходов, эти смеси проявляют свойства, типичные для полупругих материалов после их сжатия.

Около 200 образцов бытовых отходов были уплотнены на трехпоршневом прессе (см. рис. 5.1) при конечных давлениях во всех экспериментах примерно 650 и 3950 кПа, последовательно приложенных за время работы первого и второго поршней, что привело к ограничению сечения брикетов из твердых отходов примерно до 40×50 см. Окончательное уменьшение объема достигалось приложением давления (во время работы третьего поршня) в направлении только уменьшения высоты брикета (два других измерения оставались неизменными). Давление, создаваемое третьим поршнем, в разных экспериментах менялось примерно от 4500 до 24 000 кПа. В нескольких опытах давление было доведено до 41 500 кПа.

Опыты показали, что объем каждого исследованного образца непрерывно уменьшался при увеличении давления. Однако уменьшение объема было более явно выражено при давлениях ниже 7000 кПа. Соответственно наименьшее уменьшение объема происходило в интервале давлений примерно от 14 000 до 24 000 кПа. Результирующее уменьшение объема в зависимости от приложенного давления (в направлении высоты брикета) графически представлено на рис. 5.2.

Относительное сжатие (табл. 5.2) различных образцов (одинакового начального объема) смесей бытовых отходов, уплотненных при одном и том же давлении, изменяется в широких пределах. Различия в относительном сжатии образцов, уплотненных при давлении примерно 24 000 кПа, составляют более 300%. Как правило, образцы с меньшей начальной плотностью уплотняются в большей степени, чем образцы с высокой начальной плотностью (табл. 5.2).

Обнаружено, что соотношение между начальной плотностью и относительным уменьшением объема связано, в первую очередь, с различными соотношениями твердые тела : пустоты. Образцы с малой плотностью в большинстве случаев содержали пропорционально меньшее количество твердых материалов и больше пустот, чем образцы с высокой плотностью. В результате этого объем

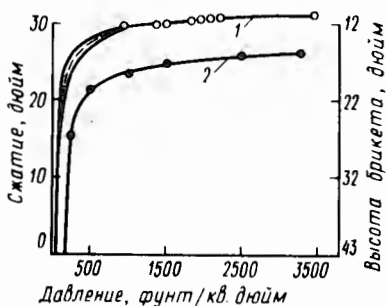


Рис. 5.2. Уплотнение отходов под высоким давлением
1 — 8 образцов массой 90 кг; 2 — 1 образец массой 125 кг

Таблица 5.2. Относительное уменьшение объема рыхлых бытовых отходов в зависимости от начальной плотности и давления при уплотнении

Плотность рыхлых отходов, кг/м ³			Относительное уменьшение объема			Давление прессования, кПа
минимальная	максимальная	средняя	минимальное	максимальное	среднее	
57,6	128	107,2	11 : 1	23 : 1	15 : 1	21 000—24 500
134,4	254,4	172,8	5 : 1	12 : 1	9 : 1	
97,6	128	110,4	11 : 1	15 : 1	13 : 1	13 000—17 500
144	230,4	172,8	6 : 1	10 : 1	9,5 : 1	
96	137,6	108,8	10 : 1	13,5 : 1	12 : 1	9500—10 500
160	198,4	169,6	7 : 1	9 : 1	8 : 1	
104	134,4	121,6	9 : 1	12 : 1	10 : 1	4500—7000
129,6	200	160	7 : 1	9 : 1	8 : 1	

уплотнительной камеры при прессовании брикетов, полученных из образцов с малой плотностью, оказывался меньше, чем при прессовании образцов с высокой плотностью (при одинаковом исходном объеме образцов). Образцы с равными начальными объемами и плотностями всегда образовывали брикеты одинакового объема.

Сопоставление объемов брикетов, полученных в уплотнительной камере при высоком давлении и образованных из образцов одинакового объема и равной начальной плотности (или массы), показывает, что приблизительно 30% отклонений в относительном уменьшении объема связано не с различиями в объеме пустот бытовых отходов, а с различиями в плотности специфических твердых материалов и количествах поглощенной влаги. Вычисления показывают, что при одинаковой (по массе) загрузке отходами, например 45,36 кг, они занимают после уплотнения объем, равный примерно $29,4 \pm 15\%$ дм³ ($28,3 \pm 15\%$ дм³ при массе 42,18 кг), независимо от начальной плотности образцов.

Соответственно плотность брикетов (табл. 5.3) в уплотнительной камере меняется только в пределах 30% независимо от начальной плотности рыхлых образцов. Кроме того, поскольку при давлении, превышающем 12 400 кПа, изменения объема пустот очень малы, то можно сделать вывод, что 30%-ное изменение плотности различных брикетов вызвано, главным образом, изменениями удельных масс твердых материалов. Так как образцы равной массы при

Таблица 5.3. Плотность брикетов из бытовых отходов в зависимости от начальной плотности и давления при уплотнении

Средняя плотность рыхлых отходов, кг/м ³	Плотность брикетов, кг/м ³			Давление прессования, кПа
	средняя	максимальная	минимальная	
107,2	1488	1728	1248	21 000—24 500
172,8	1488	1632	1248	
110,4	1440	1664	1312	13 000—17 500
172,8	1440	1648	1344	
108,8	1312	1376	1232	9500—10 500
169,6	1376	1520	1328	
121,6	1184	1232	1120	4500—7000
160	1184	1440	1056	

уплотнении занимают одни и те же объемы, то для получения брикетов одинакового размера поступающие отходы надо контролировать по массе, а не по объему. Наконец, дополнительное уменьшение объема было достигнуто при некотором давлении, поддерживаемом в течение определенного промежутка времени. Примерно через 15—30 с для образцов, уплотненных при различных давлениях, наблюдалось значительное уменьшение объема брикетов. Однако в случае выдержки при более высоких давлениях объем уменьшался не столь заметно. Уменьшение объема, достигнутое при давлении примерно 7000 кПа, было эквивалентно тому, которое получено при 12 000 кПа без выдержки под давлением. Выдержка при давлении примерно 14 000 кПа дает приблизительно такое же уменьшение объема брикета, как и уплотнение давлением 17 500 кПа.

Упругое последствие. Объем любых уплотненных образцов бытовых отходов, включая отходы, полученные в рассыпанном рыхлом виде, в мешках или измельченные, а также любые другие, содержащие волокнистые или упругие материалы, после снятия давления немедленно увеличивается.

Вначале объем возрастает очень быстро. Максимальный рост объема происходил в первые 1—2 мин. Для брикетов разного состава, уплотнявшихся при разных давлениях, первоначальный объем в течение этого периода возрастал в среднем на 43—66% (табл. 5.4). Наименьший относительный рост объема влажных отхо-

дов наблюдался при давлении примерно 21 000 кПа, а наибольший — при давлении примерно 1400 кПа. Объем брикетов, спрессованных при давлении менее 10 500 кПа, возрастал несколько меньше, чем при давлении 14 000 кПа. Однако поскольку объем уплотнительной камеры до этого увеличения объема систематически изменялся в значительной степени в зависимости от приложенного давления, то соответственно колебался и конечный объем брикетов. Все брикеты, уплотненные при меньших давлениях, занимали больший объем, чем брикеты, спрессованные при более высоких давлениях. В наибольшей степени увеличивали свой объем или очень влажные, или очень сухие отходы. Наименьшее увеличение объема наблюдалось для образцов только влажных. Очень влажные образцы после уплотнения обычно частично или полностью разваливались. Однако выяснилось, что очень влажные отходы попадают довольно редко, и для решения этой проблемы требуется просто повторное прессование распавшихся брикетов.

В настоящем исследовании отходы уплотнялись в небольшие блоки размером примерно 40×50 см при переменной высоте. При этом, естественно, возрастает напряжение изгиба крупных волокнистых и упругих предметов, входящих в состав отходов и, следовательно, силы упругого последействия внутри брикетов. Крупные брикеты испытывают заметно меньшее упругое последействие. Опыты показали, что объем свободно лежащих брикетов продолжает возрастать. Спустя 24—72 ч полное увеличение объема отдельно лежащих брикетов составляло примерно 80%, а в некоторых случаях 100% от начального объема уплотнительной камеры. Однако силы упругого последействия, влияющие, в основном, только на внешний слой брикетов, невелики, а так как маловероятно, чтобы брикеты хранились или перевозились, не будучи сложенными в штабеля, то можно утверждать, что последующее увеличение объемов может быть предотвращено. Таким образом, для уплотнения смесей бытовых отходов в небольшие брикеты, вероятно, целесообразно использовать значения, которые были определены спустя 1 или 2 мин после начала роста объема брикетов (см. табл. 5.4).

Увеличение объема брикетов, уплотненных в трехпоршневом прессе, говорит в пользу последовательного повышения прикладываемого давления. Например, объем брикетов, которые были спрессованы при давлении примерно 24 000 кПа, возрос приблизительно на 60%. При этом по высоте их размеры увеличились на 50% (24 000 кПа), по длине лишь на 4% (3950 кПа) и по ширине на 2% (650 кПа). Если приложенное давление уменьшается, а влажность отходов велика, то степень удлинения и уширения возрастает, а рост по высоте уменьшается. Максимальное увеличение размеров составляло около 20% в длину и около 10% в ширину. Если при брикетировании давление во всех трех направлениях одинаковое, то можно ожидать увеличения объема.

Как показано в табл. 5.4, плотность брикетов после увеличения

Таблица 5.4. Увеличение объема, плотность и относительное уменьшение объема брикетов после снятия давления

Средняя плотность рыхлых отходов, кг/м ³	Среднее увеличение объема через 1—2 мин, %	Средняя плотность через 1—2 мин, кг/м ³	Среднее относительное уменьшение объема через 1—2 мин	Давление прессования, кПа
107,2	50	976	10,0 : 1	21 000—24 500
172,8	43	1048	6,4 : 1	
110,4	66	936	7,9 : 1	13 000—17 500
172,8	56	960	6,1 : 1	
108,8	62	800	7,4 : 1	9500—10 500
169,6	51	864	5,5 : 1	
121,6	49	792	6,6 : 1	4500—7000
160	59	768	5,1 : 1	

их в объеме составляла примерно 960 кг/м³ при давлении более 13 000 кПа и была близка к 800 кг/м³ при более низких давлениях прессования. Значения относительного уменьшения объема, определенные после проявления упругого последействия, менялись в широких пределах. Максимальное уменьшение объема (после проявления упругого последействия) вновь было обнаружено у образцов с малой плотностью пустот. Для образцов с малой плотностью оно в среднем менялось от 10 : 1 до 7 : 1 (в зависимости от приложенного давления), а для образцов с высокой начальной плотностью — от 6 : 1 до 5 : 1. Учитывая природу современных смесей твердых отходов, полное уменьшение объемов можно считать равным примерно 8 : 1, или почти 90 %.

Стабильность структуры брикетов твердых отходов. Стабильность структуры брикетов твердых отходов зависит, главным образом, от когезионной способности тех структур, которые образуются в процессе уплотнения. Такие структуры получались при уплотнении материалов, если составляющие их твердые частицы были приведены в тесное соприкосновение друг с другом. Так как приложенное к этим материалам высокое давление увеличивает возможность и силу контактного взаимодействия и к тому же число и силу образовавшихся связей (благодаря соединению и адгезии компонентов смеси), то наиболее прочные брикеты были получены при самых высоких давлениях. Соответственно эти брикеты в наибольшей степени противостояли силам разрыва, которые проявлялись в процессе увеличения объема.

Было показано, что все смеси бытовых и других подобных отходов, за исключением очень влажных, обладают достаточно хорошей способностью к сцеплению, что при высоком давлении приводит к образованию очень устойчивых структур. Наиболее прочные брикеты всегда получались при давлении примерно 24 000 кПа. Хорошие результаты были, правда, получены и при давлении 14 000 кПа. Довольно большая часть брикетов, спрессованных при 10 500 кПа, также обнаружила очень высокую прочность. Заметное увеличение плотности и прочности наблюдалось всегда, особенно в случае низкого давления, при выдержке брикетов под давлением в течение некоторого времени. Наиболее плотные брикеты с прямыми гранями, сторонами и углами были получены из образцов, содержащих соответственно измельченные, упакованные в бумажные мешки и рыхлые отходы.

Устойчивость брикетов по отношению к внешним механическим воздействиям при обработке материалов и в условиях транспортировки была определена: а) испытанием на ударную вязкость; б) лабораторными вибрационными испытаниями и испытаниями на ударную вязкость; в) в условиях реальной перевозки по железной дороге на расстояние более 1100 км.

Испытания на ударную вязкость показали, что все брикеты из уплотненных отходов могут выдержать падение с высоты до 3 м без серьезных повреждений. Брикеты, предварительно подвергнутые жестким вибрационным испытаниям и испытаниям на ударную вязкость (описанным ниже), частично потрескались и некоторые раскололись. Брикеты, спрессованные примерно при 24 000 кПа, были, как правило, более прочны, чем брикеты, уплотненные при 14 000 кПа.

Лабораторные вибрационные испытания и испытания на ударную вязкость проводились на закрепленных и незакрепленных брикетах, подвергавшихся действию сначала вибрационных ударных сил, а затем — прямого удара. Первоначальные испытания показали, что все брикеты без труда выдерживали условия, имитирующие перевозку по железной дороге на расстояние примерно 500 км с 12 ударами, два из которых соответствовали столкновению. Проведенные затем дополнительные испытания показали, что даже наихудшие образцы сохранялись в процессе перевозки на расстояние более 1000 км независимо от того, были ли они укреплены снаружи или нет.

Что касается железнодорожных перевозок, то были предприняты два рейса — примерно по 1100 км, один с 40 брикетами, другой с 264 брикетами. В первом рейсе испытывались брикеты, полученные из рыхлых отходов и из отходов из бумажных мешков, спрессованные при давлении примерно 14 000 и 24 000 кПа. Во втором рейсе, кроме того, «участвовали» брикеты, уплотненные при 10 500 кПа и выдержанные до 9 сут. Брикеты лежали на полках, часть — в один слой, часть — в два слоя, но большинство в четыре слоя. На брикеты, сложенные в один и два слоя, были помещены мешки с песком, чтобы имитировать различные нагрузки, которые

могут встречаться в реальных условиях. Условия перевозки, созданные на протяжении этих рейсов, были более суровыми, чем в обычных условиях при перевозках по железным дорогам. Были зарегистрированы сильные и резкие сильные удары. Время перевозки для первого рейса составило 9 ч, а для второго рейса — 14,5 ч. Все брикеты, включая и разбросанные по вагону в результате ударов, после рейсов протяженностью примерно 1100 км оказались в хорошем состоянии (пригодными для дальнейшей обработки). От брикетов отломилось только небольшое количество осколков (около 1% по массе).

Хрупкие брикеты обычно получались при давлении до 7000 кПа. Наиболее хрупкие брикеты разваливались непосредственно после выталкивания из пресса или после переноски. Однако при уплотнении 7000 кПа уже наблюдался явный рост прочности брикетов. Большинство брикетов, уплотненных при 10 500 кПа, не изменялись после обычной обработки на месте и оказались пригодными для описанных выше железнодорожных перевозок.

Суммируя полученные результаты, можно утверждать, что смеси отходов, подсобных бытовым, при отсутствии избыточной влаги могут спрессовываться при давлении 14 000—24 000 кПа в прочные брикеты без применения каких-либо связующих или дополнительных креплений. Выдержка при давлении приводит к уменьшению объема брикетов и повышает их прочность. Смеси, которые содержат чрезмерные количества либо очень влажных отходов, либо резины, пластмасс или стекла, образуют непрочные структуры.

Контроль окружающей среды при прессовании отходов. Меры контроля загрязнений на установке для брикетирования отходов те же, что и на любой хорошо организованной установке по сбору и хранению отходов или на промышленной установке, использующей сложное машинное оборудование. Методы специализированного и сложного контроля, которые применяются на химических технологических установках, здесь не требуются.

Основное различие в мерах по контролю загрязнений на установке по прессованию отходов по сравнению с мерами контроля при использовании обычной установки для перегрузки отходов связано с работой уплотняющего пресса и вспомогательного оборудования. Основной вредностью при работе установки является производственный шум. Меры по контролю за его уровнем включают в себя рекомендации, которые могут быть прямо реализованы в конструкции здания, пресса и оборудования для обработки материалов. Кроме того, насосы пресса (основной источник шума) могут быть снабжены звукопоглощающими кожухами.

С точки зрения требований промышленной гигиены, условий работы и здоровья обслуживающего персонала на территории, где действует установка для прессования, должны соблюдаться правила безопасности движения и предусмотрены средства для тушения пожара. Поскольку основные свойства рыхлых твердых отходов в процессе обработки изменяются мало, то для них можно приме-

нять те же меры контроля, что для необработанных отходов (например, в бункерах-хранилищах печей для сжигания отходов). Эти методы контроля материалов связаны, главным образом, с контролем за запахом и за паразитами, а также контролем запыленности и выщелачивания, которые могут потребоваться, но только на определенных стадиях обработки материалов, утилизации или хранения твердых отходов.

Контроль запаха требуется всюду, где собираются отходы, независимо от того, обрабатываются они или нет. Таким образом, установка для прессования отходов должна быть оборудована принудительной вентиляцией, хотя в высокопроизводительном оборудовании нет необходимости. Исследования, проведенные с прессованными брикетами, показывают, что после уплотнения разложение продуктов питания и отходов растительного происхождения происходит быстрее, чем рыхлых отходов, особенно если они находятся близко друг к другу. Хотя все исследованные брикеты разлагались аэробно, выделяя, в основном, воду и двуокись углерода, и не были источником гнилостного запаха, некоторые из них иногда содержали такие отходы, как, например, сырое мясо, которое может давать неприятный запах.

Меры предосторожности по охране здоровья персонала, которые связаны с патогенными веществами и которые требуются при обработке рыхлых отходов, вероятно, могут быть значительно ослаблены или вообще не потребоваться при хранении брикетов. Температура внутри исследованных брикетов повышалась очень быстро и была достаточной, чтобы эффективно уничтожить большинство микроорганизмов.

Меры по контролю загрязнений, требующиеся для брикетированных твердых отходов, т. е. в процессе последующей транспортировки или на месте санитарной земляной засыпки, такие же, как те, что обычно приняты для рыхлых отходов. При санитарной земляной засыпке брикетированные отходы могут храниться при сильном ветре без опасности, что будут разнесены по окрестности. Брикетированные твердые отходы не загораются так легко, как неуплотненные материалы, а также препятствуют фильтрации воды. Кроме того, брикетированные отходы поступают на место земляной засыпки, вероятно, либо с очень малым содержанием патогенов, либо вообще без них вследствие разогрева брикетов изнутри и возможности их уничтожения в промежуток времени между образованием брикетов, их хранением и транспортировкой. В общем прессование и брикетирование с точки зрения защиты окружающей среды значительно улучшают характеристики существующей системы удаления отходов.

5.1.3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА УПЛОТНЕНИЯ В СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМАХ УДАЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Для прессования отходов были использованы установки промышленного масштаба, построенные и пущенные в ход фирмами

«Американ Хойст энд Деррик, Солид вэйст системз» (штат Миннесота) и «Реклемейшн системз, инк» (штат Массачусетс). Было показано, что эти установки способны легко обрабатывать гетерогенные смеси твердых отходов, поступающие в любое время года и доставляемые муниципальным или коммерческим транспортом в количестве примерно 400—500 т в расчете на один пресс за 8-часовую рабочую смену (1200—1500 т/сут). Кроме того, эти установки очень легко вписывались в существующую систему переработки твердых отходов.

Как указано в гл. 4 и в других разделах, имеется широкий выбор рабочих параметров и аппаратов, пригодных для использования на установках, с помощью которых можно прессовать отходы и изготавливать брикеты. К их числу относятся разнообразные конструкции, например питающие устройства для подачи материала в пресс (в частности, конвейеры или подъемные краны), прессов или систем прессов, устройств для транспортировки брикетов из твердых отходов (например, конвейер, подъемный кран, погрузчик с вилочным захватом, спускной желоб, грузовой автомобиль или железнодорожная дрезина) и род работы (например, ручной труд, полуавтоматический или автоматический). Параметры работы уплотнительной системы фирмы «Американ Хойст» таковы.

Загрузка: смеси бытовых, торговых, промышленных твердых отходов общего характера, включая негабаритные предметы (например, различные вещи, части или куски брошенных автомобилей), доставляемые муниципальным или коммерческим транспортом.

Предварительная подготовка: не требуется.

Загрузочное устройство: конвейер 2,5 м (ширина) × 45 м (длина), включая наклонную часть.

Упаковочный пресс Херриса типа SWC 2528: размеры примерно 0,89 м (высота) × 1,32 м (ширина) × 0,94 м (длина), масса примерно 270 т.

- а. **Загрузочная камера:** объем примерно 19 м³, 1,5 м (высота) × 1,7 м (ширина) × 7,3 м (длина).
 - б. **Сжатие:** три поршня — давление первого поршня — примерно 500 кПа, второго — 10 000 кПа, третьего — 19 000 кПа, усилие первого поршня — примерно 3500 кН, второго — 17 700 кН, третьего — 17 700 кН.
 - в. **Размеры брикета в уплотнительной камере:** примерно 0,91 × 0,91 × 1,22 м.
 - г. **Размеры брикета после увеличения объема:** 0,96 × 0,96 × 1,34 м.
 - д. **Масса брикета:** в среднем 1130—1270 кг.
 - е. **Мощность установки:** примерно 260 кВт.
 - ж. **Длительность полного рабочего цикла:** в настоящее время 90 с (может быть доведена до 60 с).
- Обработка после уплотнения:** не требуется.
- Транспортировка брикетов:** погрузчик с вилочным

захватом или спускной желоб, грузовые автомашины и (или) железнодорожные перевозки.

Полная стоимость установки (1971 г.): при использовании ее на 95% (243 443 т/год) — 1,72 долл/т; 90% (230 630 т/год) — 1,82 долл/т; 85% (217 817 т/год) — 1,93 долл/т. В стоимость включены: полностью основная зарплата, дополнительные выплаты, накладные расходы, эксплуатационные расходы, запасные части, тепло, свет, электроэнергия, непредвиденные расходы (достигающие 0,11 долл/т), постоянные затраты; полная амортизация всей установки и оборудования в течение 10 лет; суммарные капиталовложения в производственные фонды, за исключением стоимости земельного участка, — 1 075 000 долл; доход — 9% от суммарных капиталовложений в производственные фонды. Указанная стоимость определена при 2-сменной работе с 5,5 рабочими днями в неделю и условии эксплуатации установки в течение 10 лет. Опыт показывает, что при 3-сменной работе с 7 рабочими днями в неделю время работы установки по изготовлению брикетов в авто-тракторной промышленности может составлять до 98% всего времени, и ее можно эксплуатировать более 20—25 лет.

По данным указанных выше фирм, захоронение брикетов в санитарных земляных засыпках в полной мере продемонстрировало преимущества прессования: степень использования участка возрастает вдвое; брикеты легко размещаются и могут складываться как кирпичи; даже при сильном ветре бумага не разлетается; если брикеты лежат не покрытыми в течение нескольких недель летом или зимой, то они все равно не привлекают крыс, грызунов, мух и птиц; их очень трудно поджечь, даже с помощью бензина и паяльной лампы; брикеты настолько прочны, что без каких-либо заметных повреждений выдерживают нагрузку тяжелого гусеничного трактора или трактора-тягача; они в очень малой степени пропускают дождевую воду (из экспериментальных данных следует, что скорость просачивания воды составляет всего $\frac{1}{20}$ от скорости просачивания через слой хорошо укатанной обычной санитарной земляной засыпки).

При рассмотрении всей системы переработки отходов следует проанализировать различные факторы и уточнить, имеются ли преимущества для осуществления процесса брикетирования.

Прессование и брикетирование твердых отходов обеспечивают большое число легко объединяемых конструктивных решений процессов и (или) систем. С точки зрения удобства проведения процессов предварительной обработки этот процесс не только допускает, но и действительно обеспечивает унификацию при различных методах сбора отходов, снижает, таким образом, расходы и в зависимости только от размеров загрузочной камеры допускает обработку негабаритных предметов (брошенные автомобили, пружинные кровати, матрацы и т. п.). Кроме того, при изменении мощности пресса можно обслуживать области или районы сбора отходов различных размеров без больших изменений в стоимости процесса.

Столь же выгодно прессование с точки зрения удобства осуществления процессов последующей обработки (например, уплотненные материалы можно поставлять в виде кубических или прямоугольных, очень прочных брикетов различных размеров). В дополнение к преимуществам, связанным с более экономичным использованием участка земляной засыпки, этот метод обеспечивает принципиально более полное использование грузозачерпывающих емкостей транспорта — грузовых автомашин и особенно железнодорожных вагонов.

Прессование и брикетирование твердых отходов может выполняться эффективно и экономично в виде одностадийного процесса, в который можно не вмешиваться (например, использование трехпоршневого пресса). Кроме того, для этого процесса не требуется какой-либо дополнительной обработки, например сортировки, измельчения, добавления связующих материалов, применения каких-либо укрепляющих средств, упаковки и т. д. Наконец, процесс уплотнения и изготовления брикетов из отходов позволяет дополнять «систему строительных блоков» (помещать брикеты в проволочные сетки, завертывать в капсулы из листового металла, обмазывать битумом, бетоном или обертывать пластиковой пленкой и т. д.), если это желательно или требуется в связи с местными условиями.

Таким образом, можно сделать вывод, что процесс уплотнения и брикетирования отходов является экономически рациональной системой удаления твердых отходов. Он проверен и рекомендован всеми организациями по охране окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Rail Transport of Solid Wastes», American Public Works Association, Research Foundation, Chicago, August 1971.
2. Karl W. Wolf, Christine H. Sosnovsky, «High Pressure Compaction and Baling of Solid Wastes», City of Chicago, Department of Streets and Sanitation, and the American Public Works Association, May 1970.
3. Karl W. Wolf, Christine H. Sosnovsky, «Rail Transport of Solid Waste, A Feasibility Study» (Interim Report), U. S. Department of Health, Education, and Welfare, Cincinnati, 1969.
4. Karl W. Wolf, Christine H. Sosnovsky, «The Tezuka Refuse Compression System», U. S. Department of Health, Education, and Welfare, Cincinnati, 1969.
5. Karl W. Wolf, «Rail-Haul as an Integral Part of Waste Disposal Systems», in The Affluent and the Effluent, Railway Systems and Management Association, Chicago, 1968.
6. Karl W. Wolf. «The Rail-Haul of Solid Waste, An Interim Report», in 1968 Proceedings, Institute for Solid Wastes, American Public Works Association, 1968.

5.2. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

В. Дж. Джонсон

До последнего времени измельчение или размалывание твердых отходов с помощью молотковых дробилок или других машин почти не практиковалось в системе обработки отходов в США, за исключением установок для получения компоста. Впервые в Северной Америке размалывающая установка широкого диапазона мощности была смонтирована фирмой «Вилль де Анжу» (Монреаль, Квебек).

Размалывание твердых отходов может быть представлено как растирание, измельчение или трамбовка. При этом уменьшается объем (до 50%) и облегчается складирование. При размалывании твердые отходы из различных компонентов преобразуются в относительно однородную массу, мало сходную с первоначальным материалом. Материал становится гумусоподобным, почти без запаха, что не привлекает мух и паразитов, и относительно негорючим. Следовательно, размалывание твердых отходов является приемлемым способом их обработки.

Большинство установок, используемых для этой цели, представляют собой устройства молоткового типа (рис. 5.3), в которых удар сочетается с измельчением. Хотя это обычно сухой процесс, но разбрызгивание мелких капель воды перед тем, как отходы поступают в машину, снижает прочность бумажных изделий, уменьшая энергию, которая необходима для измельчения и последующей обработки материала для захоронения. (Естественно, что добавление воды увеличивает потребности в энергии на транспортировку и другие затраты).

Размер частиц определяется изменением параметров решеток и скорости движения, а также размещением молотков дробилки. Потребляемая электроэнергия резко возрастает обратно пропорционально размеру окончательного продукта (рис. 5.4).

Различают молотковые дробилки поворотные, фиксированные с дробильными плитами и без них, с решетками и без них, с одиночным или двоянным роторами, с горизонтальной или вертикальной осями вращения. На рис. 5.5 показана молотковая дробилка со свободным вращением в горизонтальной оси.

Серьезной проблемой является обработка неразмалываемых материалов, которые встречаются в твердых отходах. Возможно создание размалывающей установки достаточных размеров и мощности, чтобы обрабатывать все типы отходов, однако ее эксплуатация отнимет от 3 до 4% получаемой энергии, что неэкономично. Следовательно, на всех установках необходимы устройства для предварительной сортировки.

Эксперименты, выполненные в округе Большого Лондона в Англии, показали, что даже при использовании самой большой установки для размалывания сталкиваются со случаями заедания.

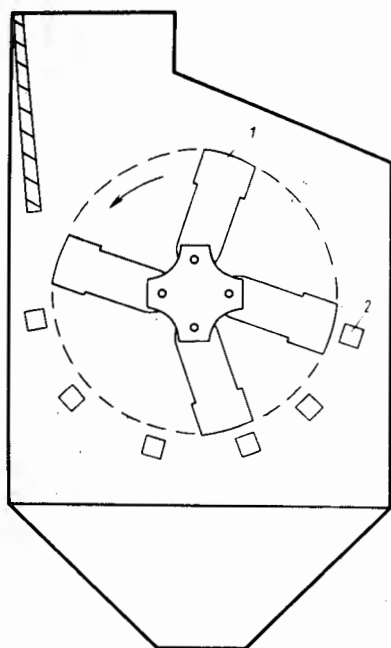


Рис.5.3. Схема молотковой дробилки
1 — вращающиеся реверсируемые молотки; 2 — неподвижные полки с регулируемым зазором и возможностью поворота

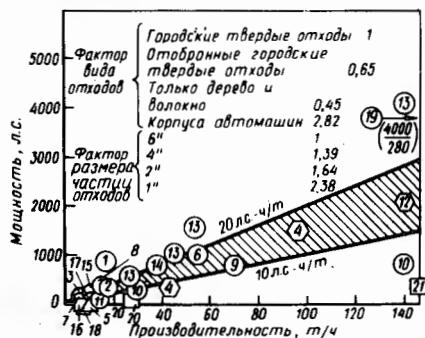
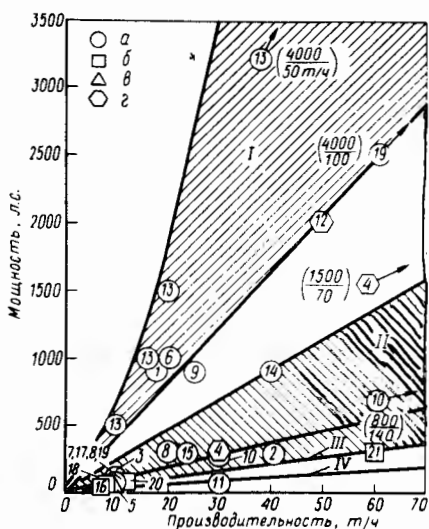


Рис. 5.4. Потребности в энергии для дробления по данным ряда американских фирм

На нижнем графике показано влияние на энергозатраты характеристики исходных материалов и величины размеров частиц отходов. При ограничении первоначальных размеров энергозатраты возрастают на 15 л. с.-ч/т.

а — молотковые дробилки; б — барабанные измельчители — преобразователи в пульпу; в — мусородробилки; г — измельчители; I — область для отходов любых металлов (корпуса автомашин до размера 10—15 см); II — область для типичных городских смешанных твердых отходов; III — теоретическая кривая для стали (6,4 л. с.-ч/т); IV — то же, для дерева (3,1 л. с.-ч/т). Числа в условных обозначениях — номера фирм

Национальный центр восстановления ресурсов (Вашингтон, округ Колумбия) исследовал работу автомобильного размельчителя мощностью в 3000 л. с. для городских отходов: даже эта машина временно подвергалась заклиниванию. Поэтому на новой установке

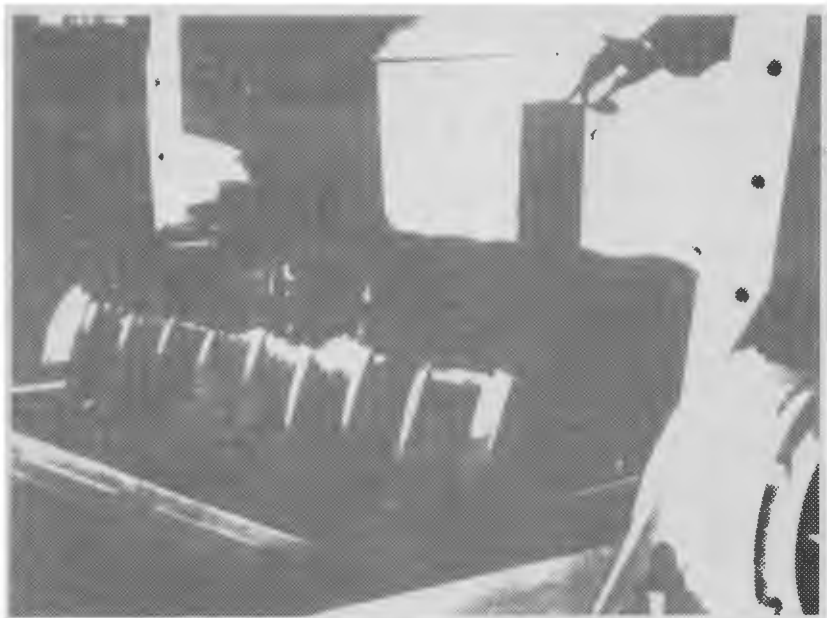


Рис. 5.5. Молотковая дробилка с горизонтальной осью

для размалывания в Крингл Док (Лондон) смонтировано устройство для сортировки отходов перед их введением в дробилку.

Перед принятием решения о выборе типа размалывающей установки важно знать природу и количество отходов, которые предполагается обрабатывать. Расчет оборудования для транспортировки отходов к размалывающей установке также имеет первостепенное значение (см. гл. 4). Ниже описаны некоторые типы молотковых дробилок.

5.2.1. ТИПЫ ДРОБИЛОК

Молотковые дробилки с вертикальной осью. Дробилка фирмы «Толемач» имеет вертикальную роторную ось с восемью комплектами револьверных молотков. Необработанные отходы подаются в установку сверху через воронку загрузочного люка и размалываются в пространстве между молотками и жестким корпусом. На выходе нет решеток, размер частиц регулируется зазором между молотком и кожухом. Большие предметы, например тяжелые металлические изделия, шины, выбрасываются через желоб сбоку установки. Большинство консервных банок может быть пропущено через установку путем присоединения резиновой диафрагмы у лотка отбрасывателя. Установка приводится в движение приводным ремнем от электродвигателя в 149 кВт, производительность установки 10—15 т/ч.



Рис. 5.6. Молотковая дробилка с горизонтальной осью фирмы «Гондард»



Рис. 5.7. Молотковая дробилка с горизонтальной осью (изготовитель — фирма "Джеффри мэнфэкчиринг ко")



Рис. 5.8. Дробилка с вертикальной осью (изготовитель — фирма "Эйдал")

Молотковые дробилки с горизонтальной осью. Изготовителем револьверной молотковой дробилки с горизонтальной осью является фирма «Гондард» (Франция) (рис. 5.6).

Ротор дробилки вращается в направлении, противоположном движению поступающих отходов. Отходы измельчаются в результате удара и истирания с помощью молотков и решеток. Неразламываемые предметы, например жестяные банки и пластмассы, баллистически выбрасываются вверх на металлический лоток над установкой и выносятся наружу через отверстие в воронке. После повторной обработки в дробилке они становятся настолько малыми, что проходят между молотками и выбрасываются с размолотыми отходами через нижнюю решетку. Такие легкие материалы, как нейлон, легкие пластмассы и ветошь, соединяются с консервными банками и выбрасываются вместе с ними. Производительность установки колеблется в зависимости от размера решеток от 10 до 15 т/ч. Частота вращения ротора 980 об/мин, мощность электродвигателя 149 кВт.

Другие молотковые дробилки с горизонтальной осью производятся фирмой «Хэммермиллз» (Джеффриз, шт. Пенсильвания) и компанией «Уильямз». На рис. 5.7 показана установка фирмы «Джеффриз» с гидравлически открывающимся кожухом для удобства обслуживания.

Мельницы с вертикальной осью. Фирма «Эйдал интернейшнл корпорейшн» изготавливает установки с вертикальным ротором, которые в отличие от обычных установок со свободными револьверными молотками размалывают отходы дробящими колесами (рис. 5.8). Отходы поступают сверху, и вращающиеся била отрывают куски тяжелых материалов и бросают их вместе с легкими в цилиндр машины. Падая вниз под влиянием силы тяжести и давления поступающего сверху материала, отходы постепенно дроб-

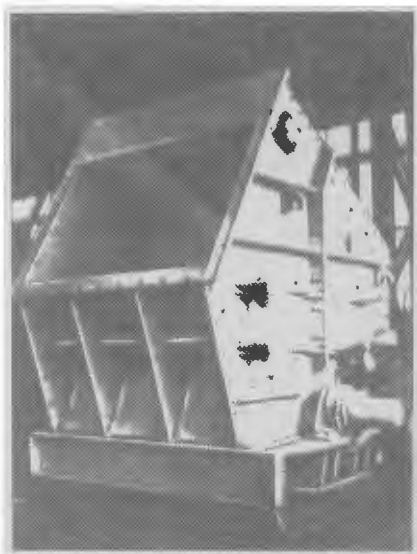


Рис. 5.9. Молотковая дробилка с горизонтальной осью (изготовитель — фирма «Хэзмаг», Северная Америка)

баться свободно плавающими колесами и неподвижными стержнями, выступающими из пластин, привинченных болтами к оболочке цилиндра.

Размалыватели с горизонтальной осью. Фирма «Хаземаг» (США) изготавливает молотковые дробилки обычного и ударного типа. Этот последний тип дробилок успешно используется для размалывания больших предметов в отходах, чтобы обеспечить их эффективное сжигание в печах. При работе молотковой дробилки фирмы «Хаземаг» (рис. 5.9) отходы вводятся через приемник, отбрасываются на ударные пластины, подвешенные к верхней части корпуса и последовательно измельчаются. Установки такого типа производятся различных размеров мощностью от 75 до 1492 кВт.

5.2.2. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Размалывание отходов требует довольно значительных затрат на обслуживание (табл. 5.5—5.22). Молотки нужно заменять или затачивать, решетки нуждаются в ремонте, а изнашиваемые удар-

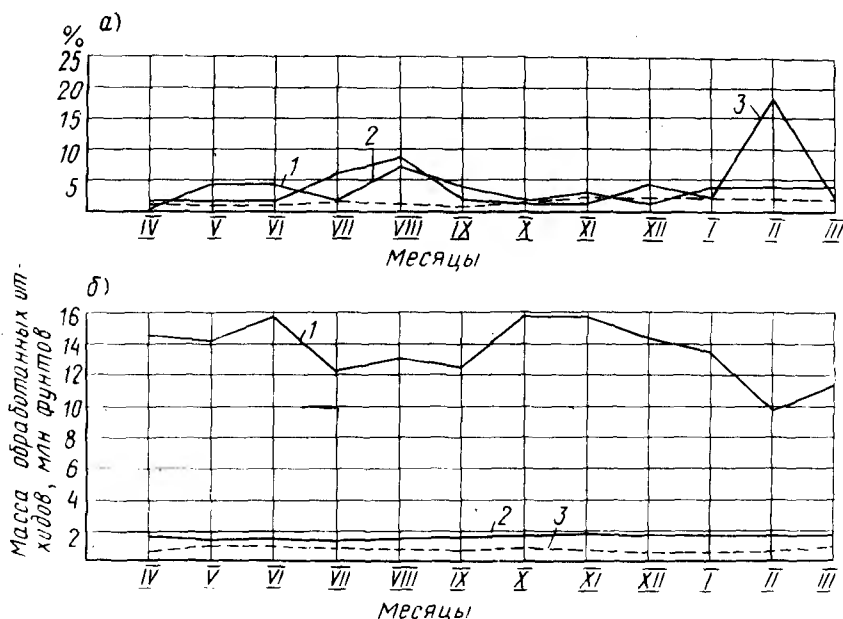


Рис. 5.10. Типичные данные годовой производительности установки в Вилль де Анжу, Монреаль

а — простой механизмов: 1 — дробилок; 2 — конвейеров; 3 — кранов; б — производительность при обработке: 1 — дробленых твердых отходов; 2 — утиля; 3 — скрапа

ные пластины и роторы заменяются или ремонтируются в зависимости от необходимости. Надежных сведений о непрерывной работе какого-либо завода по переработке твердых отходов пока немного. Графики, представленные на рис. 5.10, иллюстрируют типичную работу на протяжении года завода по измельчению в Вилль де Анжу (Монреаль). Производительность завода более 400 т/сут раздробленных отходов при двухсменной работе по 10 ч в каждой. На заводе применяются мостовой кран и различные конвейеры. В табл. 5.5 приведены сводные (усредненные) месячные затраты на том же заводе (см. рис. 5.10). Общие затраты 2,12 долл/т.

Завод работал в две смены с почти максимальной производительностью оборудования. Он также использовался как перегрузочная станция. На заводе применялась небольшая молотковая дробилка (от 10 до 15 т/ч). Стоимость износа молотков — до 0,22 цента на 1 т, а стоимость других изнашиваемых деталей — 0,6 цента на 1 т.

Так как масса раздробленного и уплотненного материала приблизительно равна массе поступающих отходов, может быть применен большегрузный транспорт, который используют для доставки раздробленных отходов к месту засыпки мусора. Затрагиваемые экономические вопросы интересно оценить, используя типичную ситуацию, — завод расположен в 17,6 км от ближайшей санитарной земляной засыпки мусора.

Таблица 5.5. Среднемесячные затраты на заводе в Вилль де Анжу (Монреаль)

Вид затрат	Затраты, долл.
Ремонт механизмов, молотков и т. д.	4940
Ремонт транспортных средств, включая газ, и т. д.	1900
Заработная плата	6000
Заработная плата водителей	3340
Итого	16 180

Примечание. В одну смену работали 9 чел.: 1 руководитель, 1 мастер, 1 крановщик, 1 оператор молотковой дробилки, 2 рабочих на конвейере и 3 водителя грузовиков.

Затраты при вывозке мусора непосредственно к месту санитарной земляной засыпки:

затраты на один грузовик (экипаж 3 чел.) на	
кольцевую поездку к месту засыпки мусора . .	14,22 долл.
размещение груза одного грузовика (4,75 т) . .	3,5 »

Итого

17,72 долл.

Затраты при использовании молотковой дробилки: стоимость обработки отходов с одного грузовика (средняя масса 4,75 т) на заводе $2,12 \cdot 4,75 = 10,07$ долл.

Для перевозки раздробленных материалов к месту санитарной земляной засыпки применяли большие грузовики, в каждом из которых помещался груз четырех мусоровозов.

Размолотые твердые отходы легко помещаются в санитарной земляной засыпке, обеспечивая сохранность ее рабочей поверхности в отличном состоянии и создавая поверхность, пригодную для проезда транспортных средств. При этом предотвращается воспламенение отходов. Поэтому размещение размельченных отходов намного дешевле, чем размещение того же количества необработанных отходов. Общая стоимость размещения груза с одного трейлера составляла примерно 4 долл. Следовательно, общая

Таблица 5.6. Ориентировочные затраты на эксплуатацию дробилки фирмы «Гондарт», долл.

Вид затрат	Годовые затраты	Размеры решеток, мм		
		89	127	159
		Масса отходов, т		
		10 750	11 500	12 050
Оплата труда	39 800	3,7	3,46	3,3
Амортизация	32 200	2,99	2,8	2,67
Электроэнергия	Колеблется	0,34	0,3	0,3
Освещение	2 300	0,21	0,2	0,19
Вода	200	0,02	0,02	0,02
Газовое отопление	1 200	0,11	0,1	0,1
Износ молотков	1 600—1 710	0,16	0,15	0,14
Обслуживание установки	850—950	0,08	0,08	0,08
Вспомогательное оборудование	800	0,07	0,07	0,07
Общие поставки	1 100	0,1	0,1	0,09
Работа по загрузке отходов	500	0,05	0,04	0,04
Транспортировка к месту земляной засыпки мусора ¹	3 250	0,3	0,28	0,27
Другие затраты	1 700	0,16	0,15	0,14
Итого, долл/т	—	8,29	7,75	7,41

¹ Кольцевая поездка на расстояние менее 800 м.

стоимость обработки отходов с одной автомашины в дробильной установке с учетом размещения раздробленных отходов в санитарной земляной засыпке равна 11,07 долл.

Таким образом, при использовании данной установки с учетом правильного ее размещения относительно места сбора и удаления отходов была достигнута экономия средств. По мере увеличения расстояния до места удаления отходов экономия возрастает.

Чем меньше расстояние от мест сбора отходов до центрально расположенного предприятия по их переработке, тем меньше потребуется мусоровозов и соответственно уменьшатся затраты.

Таблица 5.7. Затраты на амортизацию установки фирмы «Гондард»

Вид затрат	Первоначальная стоимость, долл.	Срок службы, лет	Ставка процента	Стоимость утиля, долл.	Годовые затраты, долл.
Строительство	133 100	20	5,8	4000	11 300
Дробилка и конвейер	126 700	15	5,8	4000	12 700
Весы	6900	20	7	1000	600
Загрузчик	15 400	8	7	3000	2 300
Грузовики (2 шт.)	38 000	10	7	3000	5 200
Итого	—				32 100

Таблица 5.8. Затраты на эксплуатацию дробилки фирмы «Толемач», долл/т

Вид затрат	Период	
	1-й *	2-й **
Оплата труда, включая все дополнительные выплаты	2,758	2,577
Амортизация	1,134	1,327
Молотки и оси	0,137	0,206
Электроэнергия	0,284	0,351
Электроды	0,033	0,031
Снабжение завода	0,029	0,042
Обслуживание загрузчика	0,068	0,079
Обогревание (газ)		0,154

Вид затрат	Период	
	1-й *	2-й **
Освещение	0,059	0,105
Вода и канализация	0,002	0,006
Договорной ремонт	0,013	0,04
Заменяемые детали	0,045	0,074
Итого	4,562	4,992

* Продолжительность 14 нед., в среднем 77 т/сут при работе установки 5,3 ч/сут, размолото 5318 т.

** Продолжительность 8 нед., размолото 2624 т, в среднем 66 т/сут при работе установки 5,1 ч/сут.

Таблица 5.9. Затраты на транспортировку и стационарную упаковку отходов, поступающих от дробилки фирмы «Толемач», долл.

Вид затрат	Период испытаний	
	1-й *	2-й **
Амортизация	0,448	0,524
Оплата труда водителей с учетом всех дополнительных выплат	0,137	0,147
Электроэнергия	0,019	0,023
Обслуживание трактора и трейлера	0,027	0,017
Обслуживание упаковщика	0,012	0,012
Итого	0,643	0,723

* Продолжительность 14 нед., размолото 5318 т, в среднем 77 т/сут при работе установки 5,3 ч/сут.

** Продолжительность 8 нед., раздроблено 2624 т, в среднем 66 т/сут при работе установки 5,1 ч/сут.

Таблица 5.10. Затраты на амортизацию дробилки фирмы «Толемач»

Вид затрат	Первоначальная стоимость, долл.	Срок службы, лет	Учетная ставка	Стоимость утиля, долл.	Годовые затраты, долл.
Строительство и фундамент	133 188	20	5,9	4000	11 390
Установка и конвейер фирмы «Толемач»	87 600	15	5,9	4000	8 640
Бесы	5 916	20	6,5	1000	660
Загрузчик	15 400	12	6,5	3000	1 700
Итого					22 390*

* Затраты на амортизацию для 14 нед. — $14/52$ (от 22 390 долл.), что составляет 6034 долл., и для 8 нед. — $8/52$ (от 22 390 долл.), т. е. 3448 долл.

Таблица 5.11. Затраты на амортизацию стационарного уплотнителя и системы окончательной транспортировки

Вид затрат	Первоначальная стоимость, долл.	Срок службы, лет	Учетная ставка	Стоимость утиля, долл.	Годовые затраты, долл.
Стационарный уплотнитель и воронка	19 150	15	6,5	1000	2000
Два трайлера	33 000	12	6,5	1500	3960
Один трактор	13 625	15	6,5	1500	1390
Дополнительные сооружения	16 801	20	6,5	1000	1500
Итого					8850

Таблица 5.13. Затраты труда на обслуживание двух установок при двухсменной работе

Показатели	Фактическое время работы, ч	Общие затраты, долл.	Затраты на 1 Т*, долл.
Персонал завода	5456	38 180	1,634
Руководство	1040	6504	0,278
Итого	6500	44 684	1,912

* С включением всех дополнительных выплат.

Таблица 5.12. Затраты на размывание для двух установок при двухсменной работе, долл.

Вид затрат	Общие затраты	Затраты на 1 т *
Оплата труда	44 684	1,912
Амортизация	19 570	0,838
Запасные детали	8097	0,346
Электроэнергия	4382	0,188
Молотки и оси	3786	0,162
Обогревание — газ	2391	0,102
Снабжение	2196	0,094
Освещение	2023	0,087
Обслуживание загрузчика	1653	0,071
Электроды для сварки	1128	0,048
Договорный ремонт	1047	0,045
Вода и канализация	44	0,002
Итого	91 001	3,895

* Здесь, как и в табл. 5.13—5.20, имеется в виду, что измельчено 23 317 т.

Таблица 5.14. Трудовые затраты по составным элементам для двух установок при двухсменной работе

Показатели	Фактическое время работы, ч		Общие затраты *, долл.	Затраты на 1 т, долл.
	общее	в неделю		
Работа дробилки	3969	152,8	27 754	1,188
Ремонтное обслуживание	850	32,7	5 944	0,254
Обслуживание молотков	641	24,7	4 482	0,192
Всего	5460	210	38 180	1,634
Управление	1040	40	6 504	0,278
Итого	6500	250	44 684	1,912

* Включает все дополнительные выплаты.

Таблица 5.15. Затраты на электроэнергию для двух установок при двухсменной работе, долл.

Месяц	Издержки производства	Затраты на электроэнергию	Общие затраты	Затраты на 1 т
Январь	341	257	598	0,225
Февраль	341	311	652	0,195
Март	341	332	673	0,196
Апрель	341	329	670	0,158
Май	341	330	671	0,131
Июнь	341	321	662	0,146
Итого	2046	1880	3926	0,168

Таблица 5.16. Затраты на электроэнергию и вспомогательные устройства двух установок при двухсменной работе, долл.

Месяц	Издержки производства	Затраты на электроэнергию	Общие затраты	Затраты на 1 т
Январь	19	47	66	0,025
Февраль	19	56	75	0,023
Март	19	60	79	0,023
Апрель	19	60	79	0,019
Май	19	61	80	0,015
Июнь	19	58	77	0,017
Итого	114	342	456	0,02

Таблица 5.17. Затраты на освещение двух установок при двухсменной работе

Месяцы	Установленная мощность, кВт	Потребляемая мощность, кВт/ч	Издержки производства, долл.	Затраты на электроэнергию, долл.	Общие затраты, долл.	Затраты на 1 т, долл.
Январь	38,6	18 788	58	319	377	0,14
Февраль	40	17 088	61	293	354	0,106
Март	40	19 286	61	326	387	0,113
Апрель	40	14 734	61	258	319	0,075
Май	40	12 772	61	228	289	0,056
Июнь	40	13 294	61	236	297	0,066
Итого			363	1660	2023	0,087

Т а б л и ц а 5.18. Затраты на отопление завода при двухсменной работе двух установок

Месяцы	Расход газа, м³	Общие затраты, долл.	Затраты на 1 т, долл.
Январь	24 576	823	0,309
Февраль	234 946	788	0,262
Март	14 510	468	0,136
Апрель	5 615	194	0,046
Май	1 750	63	0,012
Июнь	1 529	55	0,012
Итого		2391	0,102

Т а б л и ц а 5.19. Эксплуатационные затраты для двух установок при двухсменной работе

Вид затрат	Потребность, шт.	Затраты на 1 шт., долл.	Общие затраты, долл.	Затраты на 1 т, долл.
Молотки	1000	3,21	3270	0,14
Оси	43	12	516	0,022
Электроды для сварки	600	1,88	1128	0,048
Итого			4914	0,21

Т а б л и ц а 5.20. Затраты на транспортировку и уплотнение отходов, измельченных на двух установках при двухсменной работе, долл.

Вид затрат	Общие затраты	Затраты на 1 т
Оплата труда	5216	0,223
Амортизация	4380	0,188
Обслуживание уплотнителя	753	0,032
Обслуживание транспортных средств	597	0,025
Электроэнергия	334	0,014
Итого	11 280	0,482

Таблица 5.21. Оценка производительности установок при одно- и двухсменной работе

Показатель	Число установок			
	1	2	3	4
Одна смена:				
т/сут	100	200	300	400
т/год	24 500	49 000	73 500	98 000
Две смены:				
т/сут	200	400	600	800
т/год	49 000	98 000	147 000	196 000

Таблица 5.22. Среднегодовая стоимость размалывания, транспортировки и размещения в санитарной земляной засыпке 1 т отходов

	Число установок			
	1	2	3	4
	Одна смена			
Масса отходов, т	24 500	49 000	73 500	98 000
Размалывание, уплотнение и транспортировка, долл/т*	5,27	3,74	3,48	3,33
Заполнение установки, долл/т	1,43	0,75	0,73	0,57
Итого, долл/т	6,7	4,49	4,21	3,9
	Две смены			
Масса, т	49 000	98 000	147 000	196 000
Размалывание, уплотнение и транспортировка долл/т*	3,75	2,7	2,52	2,3
Заполнение установки, долл/т	0,75	0,5	0,57	0,45
Итого, долл/т	4,5	3,2	3,09	2,75

* Стоимость включает амортизацию установок, оплату труда, эксплуатационные расходы и транспортировку размолотых твердых отходов к месту земляной засыпки на расстояние менее 800 м. Исключается стоимость земли.

5.2.3. САНИТАРНАЯ ЗЕМЛЯНАЯ ЗАСЫПКА

Размолотые твердые отходы обладают рядом преимуществ. Место для засыпки можно использовать: а) для размещения только размолотых отходов; б) для размещения размолотых и необработанных отходов вместе.

Для того чтобы перечислить преимущества п. «а», мы исходим из результатов работы дробилки в г. Мэдисон. Размалывание отходов так изменяет их характеристики, что материал можно использовать без укрытия землей, не нарушая санитарно-гигиенических требований. Предприятие по захоронению размолотых отходов может работать во много раз эффективнее и регулярнее предприятия по захоронению необработанных отходов. Некоторые из преимуществ засыпки размолотых отходов по сравнению с засыпками необработанных отходов таковы:

- 1) исключаются трудоемкие операции по ежедневному укрытию всех отходов;
- 2) в большой степени ограничивается возможность развеивания бумаг ветром;
- 3) грузовики не вязнут в дождливую погоду благодаря достаточной плотности размолотой массы; намного реже встречаются повреждения шин и транспортных средств;
- 4) материал легко обрабатывается минимальным количеством механизмов и может быть уплотнен приблизительно до половины объема, который занимает неразмолотые отходы;
- 5) зола, которая вызывает большинство пожаров на земляных засыпках, успевает охладиться в процессе измельчения и доставки ее к месту захоронения. В любом случае размолотые отходы не будут поддерживать подземное горение или поверхностное пламя;
- 6) органическое вещество в размолотых отходах распределено равномерно, что ускоряет его аэробное разложение. Вследствие этого такие отходы не могут служить источником пищи для насекомых и грызунов;
- 7) из-за высокой скорости разложения отходов более экономно используются земельные участки, отводимые под засыпку.

Так как обычно не требуется ежедневно укрывать измельченные отходы, создаются очевидные преимущества при выборе мест засыпок мусора. Особое значение это обстоятельство приобретает в случае, когда возникают трудности в приобретении материала для укрытия.

Хотя биологическое разложение органического содержимого отходов после размалывания ускоряется, сброс размолотых отходов в воду (например, во влажные карьеры из-под гравия) приводит к загрязнению грунтовых вод. Таким образом, следует избегать влажных участков. Их можно предварительно осушать или изолировать от поступления влаги.

Когда необработанные и размолотые отходы размещают совместно в санитарной засыпке, размолотый материал действует как отличное временное покрытие для необработанных твердых отходов, и это сохраняет рабочую поверхность в хорошем состоянии.

Таким образом, место для земляной засыпки можно поддерживать в отличном состоянии при минимальных затратах, и оно служит на протяжении значительно более продолжительного периода, чем места захоронения необработанных отходов. Измельченные отходы в местах удаления обрабатывают и другими способами (см. гл. 8).

* * *

Целью настоящего раздела не является доказательство превосходства измельчения перед другими операциями обработки отходов. Специфика районов определяет выбор систем переработки отходов, причем этому выбору должны предшествовать тщательное предварительное исследование и экономическое обоснование.

Окончательный продукт дробильного завода — относительно чистый и безопасный однородный материал. Воздух при работе завода не загрязняется. Благодаря дроблению санитарные земляные засыпки могут быть расположены вблизи заселенных районов. Это имеет всевозрастающее общегосударственное значение, так как населенные пункты разрастаются, и становится все трудней подыскивать участки для захоронения отходов. Многие небольшие сельские населенные пункты нередко на законном основании возражают против использования их земель для свалки отходов соседнего города. Применение измельченных материалов может снять многие из возражений, связанных с природой отходов, и размещение мест их захоронения значительно упрощается. Если имеется площадка для компостирования, то даже при ограниченном спросе на компост было бы сравнительно просто создать экспериментальную базу для изучения возможностей его сбыта.

Чтобы проследить тенденции в использовании измельчения, можно обратиться к примеру Европы, где этот метод обработки отходов применяется в течение ряда лет. В английском обзоре, выполненном в 1966—1967 гг., указывается, что в общем балансе различных методов переработки отходов на долю измельчения приходится 1%. Эта величина сопоставима со значением 8,3%, характеризующим применение значительно более древнего и широко используемого метода сжигания отходов. [Подавляющее большинство отходов (90,4%) в Англии все же удаляются методом санитарной земляной засыпки]. Величина 1% соответствует 17 установкам для измельчения отходов. К 1970 г. дополнительно было построено 18 установок, и, кроме того, многие находились в стадии проектирования. Предполагается, что объем измельчаемых отходов в ближайшее время возрастет до 4%. По-видимому, можно предполагать, что Соединенные Штаты последуют в этом отношении за Европой.

6.1. СЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

Сжигание — способ ликвидации отходов за счет высокотемпературного окисления. Основное значение этого процесса заключается в уменьшении объема отходов. Кроме того, он может быть использован для получения энергии или для уничтожения гниющих и токсичных отходов. Обсуждение проблемы ограничивается вопросами, касающимися переработки твердых отходов. Небольшой раздел посвящен пиролизу, так как этот высокотемпературный процесс представляет реальную альтернативу процессу сжигания. Сжиганию и пиролизу в равной степени можно подвергать как коммунальные, так и торговые отходы. Приводимые ниже примеры, в основном, относятся к переработке коммунальных отходов.

Коммунальные печи для сжигания мусора применяются, главным образом, в ограниченном числе городов востока США, причем свыше $\frac{1}{3}$ номинальной мощности приходится на шт. Нью-Йорк (рис. 6.1). Сжигание мусора наряду с подземным захоронением является одним из основных методов ликвидации мусора (табл. 6.1).

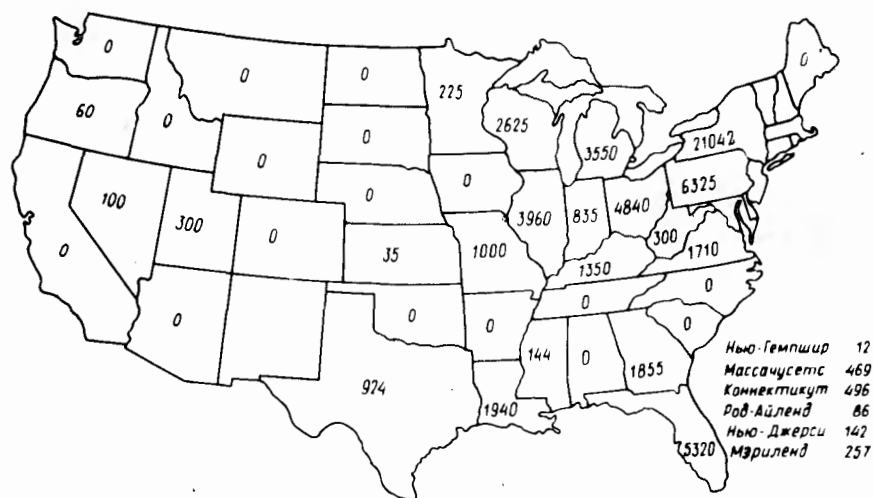


Рис. 6.1. Размещение в США мощностей (т/сут) эксплуатируемых коммунальных установок для сжигания мусора по данным на 1966 г.

Таблица 6.1. Методы ликвидации мусора и (или) уменьшения его объема *

	Ф и р м ы		
	государ- ственные	частные	всего
Захоронение отходов	4827	4056	8883
Установки для сжигания отходов (центральные)	263	162	425
Перевалочные станции	89	25	114
Участки для откорма свиней	16	308	324
Заводы по производству компоста	2	11	13
Печи Типи	29	35	64
Остальное	33	52	85

* По данным Национального обзора технологии переработки твердых отходов (6300 фирм). В некоторых случаях приведены удвоенные цифры, так как вполне вероятно, что две фирмы (или больше) используют одно и то же место для ликвидации отходов.

6.1.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

При рассмотрении процесса горения твердых отходов существенное значение приобретают следующие вопросы. На сколько может быть уменьшен объем отходов? Сколько воздуха требуется для эффективного сжигания мусора? Какие вещества выделяются из печи и какие из них должны быть удалены с помощью устройства по контролю загрязнения воздуха? Сколько энергии можно получить из продуктов сгорания или какое охлаждение нужно обеспечить, чтобы снизить температуру газов до такого уровня, при котором становится возможной обработка в стандартной установке по контролю загрязнения воздуха? На ряд этих вопросов дают ответы данные элементного анализа состава наиболее часто встречающихся компонентов твердых отходов (табл. 6.2). Эти данные наряду с процентным содержанием различных материалов в типичных коммунальных отходах были обобщены Кайзером [1—3]. В табл. 6.3 приведен состав смешанных бытовых и торговых отходов. Следует, конечно, иметь в виду, что состав торговых отходов изменяется от практически инертного до полностью горючего. Состав коммунального мусора изменяется относительно мало; мера этого изменения определяется приведенным в табл. 6.4 диапазоном состава бытовых твердых отходов, собранных в 21 городе США [4].

Уменьшение массы объема отходов при сжигании. При сжигании твердых отходов накапливается остаток, масса которого при-

**Таблица 6.2. Состав отдельных компонентов твердых отходов
и их содержание в коммунальных отходах [1]**

Компоненты отходов	Содержание в коммунальных отходах, %	Углерод	Водород	Кислород	Азот	Сера	Зола
Коробки из гофрированной бумаги	23,38	43,73	5,7	44,93	0,09	0,21	5,34
Газетная бумага	9,4	49,14	6,1	41,92	0,05	0,16	1,52
Журнальная бумага	6,8	32,91	4,95	38,55	0,07	0,09	23,43
Грубая оберточная бумага	5,57	44,9	6,08	47,84	0	0,11	1,07
Почтовая бумага	2,75	37,87	5,41	42,74	0,17	0,09	13,72
Картонные коробки для пищевых продуктов	2,06	44,74	6,1	41,92	0,15	0,16	6,93
Папиросная бумага	1,98	—	—	—	—	—	—
Покрытая пластиком бумага	0,76	45,3	6,17	45,5	0,18	0,08	2,77
Вощеный картон	0,76	59,18	9,25	30,13	0,12	0,1	1,22
Овощные пищевые отходы	2,29	49,06	6,62	37,55	1,68	0,2	4,89
Кожура citrusовых и зерна	1,53	47,96	5,68	41,67	1,11	0,12	3,46
Мясные отходы варенные	2,29	59,59	9,47	24,65	1,02	0,19	5,08
Жиры после жарки	2,29	73,14	11,54	14,82	0,43	0,09	0
Древесина	2,29	53,3	6,66	35,17	1,49	0,2	3,18
Отавшие листья	2,29	52,15	6,16	30,34	6,99	0,16	4,25
Цветочные садовые растения	1,53	46,65	6,61	40,18	1,21	0,26	5,05
Трава с газонов зеленыя	1,53	48,18	5,96	36,43	4,46	0,42	6,55
Вечнозеленые растения	1,53	48,51	6,54	40,44	1,71	0,19	2,61
Пластмасса	0,76	—	—	—	—	—	—
Тряпье	0,76	—	—	—	—	—	—

Компоненты отходов	Содержание в коммунальных отходах, %	Углерод	Водород	Кислород	Азот	Сера	Зола
Материалы из кожи	0,38	42,01	5,32	22,83	5,98	1	22,86
Компоненты резины	0,38	53,22	7,09	7,76	0,5	1,34	30,09
Краски и масла	0,76	—	—	—	—	—	—
Грязь из пылесосов	0,76	35,69	4,73	20,08	6,26	1,15	32,09
Грязь	1,53	—	—	—	—	—	—
Металлы	6,85	—	—	—	—	—	—
Стекло, керамическая пыль	7,73	—	—	—	—	—	—
Установленная влажность	9,05	—	—	—	—	—	—
Всего	100	—	—	—	—	—	—

Таблица 6.3. Состав смешанных коммунальных отходов, % по массе

Компонентный состав			
Влага	20		
Летучие вещества	52,7		
Нелетучий углерод	7,3		
Зола и металлы	20		
Элементарный состав			
	Влажное состояние	Сухой остаток	Сухой беззольный остаток, не содержащий инертных компонентов
Влага	20	—	—
Углерод	29,83	37,29	49,72
Водород	3,99	4,99	6,65
Кислород	25,69	32,11	42,81
Азот	0,37	0,46	0,61
Сера	0,12	0,15	0,2
Зола и металлы	20	25	—

Таблица 6.4. Физические и химические характеристики твердых отходов¹, подвергаемых сжиганию [4]

Показатель	Содержание по массе, %
Компонентный состав	
Влага	15—35
Летучие вещества	50—65
Нелетучий углерод	3—9
Негорючие вещества	15—25
Элементарный состав	
Влага	15—35
Углерод	15—30
Кислород	12—24
Водород	2—5
Азот	0,2 —1
Сера	0,02—0,1
Негорючие вещества	15—25
Высшая теплотворная способность	6900—13 800 кДж/кг

¹ В основном смешанные торгово-бытовые отходы, за исключением гро-моздкого мусора.

мерно равна массе инертных компонентов отходов. Небольшое уменьшение массы остатка может происходить за счет испарения или уноса некоторых инертных материалов, а небольшое увеличение может быть следствием либо окисления части металлов, либо неполного сгорания органических компонентов отходов. Количество остатка после сжигания в большой степени зависит от состава мусора. Например, при сжигании отходов бумаги и картона остается зола (всего 1 % от первоначальной массы отходов). Кроме того, так как зола, остающаяся после сжигания бумажных отходов, состоит из тонкодисперсных наполнителей и пигментов, то конструкция печи для сжигания таких специализированных отходов должна быть такой, чтобы вся зола уносилась вместе с продуктами сгорания и улавливалась газоочистной системой. Другой пример. Большая часть инертного материала в коммунальных отходах состоит из относительно крупных стеклянных и металлических фракций, которые накапливаются в виде остатка. При полном сжигании типичного коммунального мусора примерно 20% по массе находится в виде

остатка. Средняя плотность исходных коммунальных отходов составляет от 208,24 до 272,31 кг/м³, а конечная плотность может достичь 1782 кг/м³ в случае использования печи с выпуском шлака. Максимальное уменьшение объема за счет уменьшения массы и увеличения плотности отходов составляет примерно 97,5%. Для обычных коммунальных печей уменьшение объема может колебаться от 80 до 95%, а среднее значение составляет около 90%. Таким образом, обычное сжигание мусора позволяет примерно в 10 раз продлить время эксплуатации участков с санитарной земляной засыпкой. При сжигании торговых отходов с низкими содержаниями инертных компонентов можно достичь гораздо большего уменьшения объема.

Теплотворная способность твердых отходов. По данным, приведенным в табл. 6.5, можно судить о широком варьировании теплотворной способности твердых отходов. Теплотворная способность дана в расчете на сухой остаток для случая, когда влага конденсируется в газообразных продуктах (она называется высшей теплотворной способностью и соответствует чистой энергии, выделяемой, когда отходы горят при 15,6°C и продукты сгорания охлаждаются до 15,6°C). Количество тепла, выделяемого из влажных компонентов отходов, можно рассчитать, умножая соответствующие величины для сухих компонентов на отрицательные значения содержания в них влаги. Количество летучих веществ соответствует потере массы при нагревании в закрытом тигле при 950°C в течение 7 мин согласно методике ASTM. По существу, содержание летучих веществ служит приближенной мерой той части отходов, которые удаляют в виде продуктов пиролиза; истинное же количество выделенных продуктов пиролиза является функцией скорости нагревания и конечной температуры и поэтому изменяется в зависимости от конструкции и принципа действия различных установок. Анализ данных, приведенных в табл. 6.5, показывает, что теплотворная способность изменяется от пренебрежимо малых значений (негорючая часть отходов) до величин, которые близки к теплотворной способности битуминозного угля (пластмассы и резина).

В табл. 6.6 сопоставлены характерные свойства отдельных видов топлива. По сравнению с углем мусор является топливом с низким содержанием серы, низкой плотностью, низкой теплотворной способностью, высоким содержанием золы и влаги. По теплотворной способности (на 1 м³) мусор гораздо ближе к торфу, чем к углю. Классификация мусора (т. е. отделение горючей легкой фракции от инертной тяжелой) может быть использована для получения целлюлозного топлива с высокой теплотворной способностью, близкой к теплотворной способности древесины и бумаги. Существуют два процесса для отбора горючей части твердых отходов: 1) процесс Блэка Клоусона с опытной установкой в г. Франклин (шт. Огайо) и 2) СЕА-процесс с установкой в г. Бриджвотер (шт. Массачусетс). Торговые и учрежденческие отходы часто обладают высокой теплотворной способностью и такими физическими свойствами, которые дают возможность сжигать их в печах во взвешенном слое с

Таблица 6.5. Данные компонентного анализа и теплотворная способность твердых отходов [5]

Виды отходов	Содержание в общем количестве мусора, % по массе	Компонентный состав ¹ , % по массе				Теплотворная способность, кДж/кг	
		влага	летучие вещества	нелетучий углерод	негорючие вещества ²	сухой остаток	сухой остаток беззольный
Общий мусор (64%)							
Бумага смешанная	42	10,24	75,94	8,44	5,38	17 416	18 526
Древесина и кора	2,4	20	67,89	11,31	0,8	19 801	20 010
Трава	4	65	—	—	2,37	17 694	18 975
Кустарник	1,5	40	—	—	5	18 170	19 780
Зелень	1,5	62	26,74	6,32	4,94	16 277	18 710
Опавшие листья	5	50	—	—	4,1	16 259	17 710
Кожа	0,3	10	68,46	12,44	9,1	20 355	22 655
Резина	0,6	1,2	83,98	4,94	9,88	26 059	28 980
Пластмасса	0,7	2	—	—	10	33 046	36 800
Масла, краски	0,8	0	—	—	16,3	30 820	36 800
Линолеум	0,1	2,1	64,5	6,6	26,8	19 113	26 335
Тряпье	0,6	10	84,37	3,46	2,2	17 600	18 041
Мусор после подметания улиц	3	20	54	6	20	13 800	18 400
Бытовая грязь	1	3,2	20,54	6,26	70	8 717	31 396

Виды отходов	Содержание в общем количестве мусора, % по массе	Компонентный состав ¹ , % по массе				Теплотворная способность, кДж/кг	
		влага	летучие вещества	нелетучий углерод	негорючие вещества ²	сухой остаток	сухой остаток беззольный
Неклассифицированный мусор	0,5	4	—	—	60	6 900	18 400
Пищевые отходы (12%)							
Требуха	10	72	20,26	3,26	4,48	19 513	23 230
Жир	2	0	—	—	0	38 410	38 410
Негорючие компоненты (24%)	8	3	0,5	0,5	96	285	27 600
Металлы	8	3	0,5	0,5	96	285	27 600
Стекло и керамика	6	2	0,4	0,4	97,2	150	18 400
Зола	10	10	2,68	24,12	63,2	9 596	32 200

¹ Основан на стандартных методах анализа угля и кокса.² Негорючие вещества — зола, металл, стекло и керамика.

Таблица 6.6. Характерные свойства мусора и отдельных видов топлива

Топливо	Содержание, %		Исходная плотность, кг/м ³	Теплотворная способность, кДж/м ³	
	влага	зола		низшая	высшая
Мусор	28,16	20,82	272,31	9 050	2 519 200
Древесина	46,9	1,5	969,1	8 993	8 873 600
Торф	64,3	10	400,46	5 497	2 248 480
Каменный уголь	8,6	8,4	800,92	26 990	21 996 000
Топливная нефть	1,5	0,08	985,13	39 744	39 856 000
Метан	0	0	0,6804	49 576	39 480

выделением тепла. Более подробно вопрос о выделении энергии из таких отходов будет рассмотрен в следующем разделе.

Затраты воздуха на сжигание. Основными элементарными компонентами отходов являются углерод, водород и кислород. Если обозначить элементарные отношения водород/углерод и кислород/углерод через x и y , то стехиометрическое уравнение реакции полного сгорания мусора будет иметь следующий вид: $\text{CH}_x\text{O}_y + (1 + \frac{x}{4} - \frac{y}{2}) \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \frac{x}{2} \text{H}_2\text{O}$, т. е. $(1 + \frac{x}{4} - \frac{y}{2})$ молей кислорода требуется для сжигания одного моля CH_xO_y или $32(1 + \frac{x}{4} - \frac{y}{2})$ кг кислорода необходимо, чтобы сжечь $(12 + x + 16y)$ кг мусора, или $137(1 + \frac{x}{4} - \frac{y}{2})/(12 + x + 16y)$ кг воздуха нужно для сжигания 1 кг отходов. Типичные коммунальные отходы имеют элементарный состав $\text{CH}_{1,62}\text{O}_{0,62}$ по сухому остатку или $\text{CH}_{2,45}\text{O}_{1,03}$ с влажностью 24% (по массе). Поэтому расход воздуха на сжигание 1 кг беззольного мусора составляет $137(1 + \frac{2,45}{4} - \frac{1,03}{2})/(12 + 2,45 + 16 \times 1,03) \approx 4,86$ кг. Расход воздуха на 1 кг типичного мусора¹, содержащего 21% инертных компонентов, будет равен 3,8 кг.

Для расчета количества воздуха, требуемого для сжигания органических соединений, существует эмпирическое правило, согласно которому 0,02832 м³ воздуха при нормальных условиях (15,6°C, 0,1 МПа) необходимо для выделения каждых 99,1 кДж чистой энергии, рассчитанных в предположении, что вода в продук-

¹ Типичные составы отходов несколько колеблются, так как использованы различные источники.

тах сгорания находится в газовой фазе (для каждого килограмма воды в продуктах сгорания из значения высшей теплотворной способности вычитают 2460 кДж). Таким образом, для сжигания 1 кг коммунального мусора с низшей теплотворной способностью 8970 кДж/кг потребуется 2,594 м³, или 1,3 кг воздуха, что приближенно согласуется с ранее сделанной оценкой. Из этого следует, что потребность в воздухе примерно коррелирует с теплотворной способностью отходов и будет относительно невелика для коммунальных отходов в Европе и Японии, где теплотворная способность отходов сравнительно низкая. В то же время для сжигания торговых отходов, состоящих, в основном, из целлюлозы и (или) пластмассы, необходим большой расход воздуха.

Поведение микроэлементов в процессе сжигания отходов. Хотя для определения выделяемого тепла и потребностей в воздухе достаточно знать только содержание микроэлементов, опасность загрязнения воздуха часто связана с продуктами сгорания микроэлементов, входящих в состав отходов.

Сера. Типичный коммунальный мусор содержит по массе 0,12% серы. В процессе сжигания мусора часть этой серы окисляется до SO₂, а остальная накапливается в остатке. Кайзер и Каротти [7] в серии экспериментов по изучению выделений из печей для сжигания мусора обнаружили, что концентрация SO₂ в этих выделениях (скорректированная к 12% CO₂) составляет от 5,6·10⁻³ до 13,2·10⁻³% со средним значением, равным 7,8·10⁻³%. Если бы вся сера, содержащаяся в коммунальных отходах, была бы переведена в SO₂, то ожидаемая концентрация SO₂ в продуктах сгорания составила бы 1,8·10⁻²%. На основе этих опытов делается вывод о том, что лишь около 45% серы в коммунальном мусоре выделяется в топочных газах. Количество серы в золе и остатке, конечно, зависит от концентрации в них щелочных и других основных элементов.

В случае угля, наоборот, большая часть серы превращается в SO₂. В некоторых ситуациях при совместном сжигании мусора и угля можно добиться значительного уменьшения выделения SO₂ за счет взаимных эффектов замещения угля мусором и поглощения SO₂ золой, образующейся при сжигании.

Азот. В последние годы возрастающий интерес приобрели вопросы, касающиеся выделений окиси азота из печей для сжигания мусора. Известно, что азот, входящий в состав органических соединений, окисляется до окиси азота (см., например, работу [8]). Азот в твердые отходы вносится веществами как природного (мясо, кожа, шелк, шерсть и т. д.), так и искусственного (полиуретан, нитритсодержащие полимеры, формальдегидные смолы и т. д.) происхождения. Если бы весь азот, обычная концентрация которого в отходах составляет 0,5% по массе, удалось бы стехиометрически перевести в окись, то ее концентрация оказалась бы равной примерно 0,21%. Измерения Кайзера и Каротти [7] показали, что содержание NO в топочных газах (скорректированное к 12% CO₂) составляет от 5,3·10⁻³% до 10,1·10⁻³% со средней величиной 8·10⁻³%.

Более того, опыты, проведенные с добавлением 4% полиуретанов (соответствует вводу в отходы 0,24% по массе азота), показали, что концентрация выделяемой окиси азота лишь незначительно отличается от концентрации NO, полученной в опытах с добавлением полимеров, не содержащих азот. На основе этих результатов можно сделать вывод о том, что только очень маленькая доля (<0,038) азота, содержащегося в твердых отходах, превращается в окись азота.

Х л о р. Хлор в отходах может находиться в виде неорганических хлоридов или в полимерах, в основном в поливинилхлориде (ПВХ). Оценено [7], что концентрация хлора в коммунальном мусоре составляет 0,5% по массе, т. е. меньше половины от его концентрации в пластмассах. 0,48% хлора, содержащегося в твердых отходах, присутствует в поливинилхлоридных смолах (эта величина получена, исходя из оценки, что пластмассы составляют 1,5% коммунального мусора, а ПВХ, в свою очередь, — 32% пластмасс [5]). Хлор в топочных газах практически полностью находится в виде хлористого водорода. Опыты, проведенные Кайзером и Каротти [7] с добавками до 4% ПВХ, показали, что концентрация HCl достигает 0,303% (скорректированная к 12% CO₂) и соответствует выделению от 60 до 85% хлора, содержащегося в ПВХ. Аналогичное превращение в галогидводородные кислоты с высокими выходами ожидается и для других галогенов, входящих в состав полимеров (при сжигании тефлонов, например, будет выделяться фтористый водород).

С л е д ы м е т а л л о в. Предполагается, что металлы и оксиды металлов с низкими температурами кипения будут отгоняться от остатка и уноситься преимущественно с летучей золой. Высокие концентрации алюминия, свинца и цинка, найденные в летучей золе [9] и печных осадках [10], подтверждают это, однако данные слишком неполные, чтобы позволить составить материальный баланс по ничтожным количествам металлов.

6.1.2. КОНСТРУКЦИИ УСТАНОВОК ДЛЯ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ

Открытое сжигание отходов на свалках или в печах, расположенных во дворах, является самым примитивным способом сжигания, и в настоящее время в связи с опасностью загрязнения воздуха оно в США запрещено.

Конструкция установок для сжигания мусора должна обеспечить: а) работу печи, в которой находится горящий мусор; б) подачу воздуха в количествах, требуемых для сжигания отходов; в) смешение воздуха, поступающего в зону горения, с продуктами пиролиза перед тушением продуктов сгорания; г) охлаждение газов для предотвращения повреждения огнеупоров и, в конечном счете, понижение температуры газов до такого уровня, при котором они могут быть эффективно очищены; д) удаление твердых частиц и вредных газов из продуктов сгорания; е) подачу отходов в печь и удаление остатка из печи без утечки продуктов сгорания. Указанные требования должны быть достигнуты на экономически разум-

ной основе. Кроме того, установки, расположенные в жилых массивах, должны отвечать минимальным эстетическим требованиям.

Детали конструкции сильно различаются в зависимости от производительности установки и типа перерабатываемого мусора. Схемы установок для сжигания отходов показаны на рис. 6.2—6.4. Разнообразностей конструкции множество. Объясняется это тем, что каждая установка создается, сообразуясь с местными условиями, а недостаточное понимание основных конструкционных параметров не позволяет сделать однозначный выбор системы.

Площадки для разгрузки и хранения отходов. Торговые отходы, такие, как древесная щепа, пластмассовая стружка или другие относительно мелкие однородные материалы, можно хранить в бункерах и передавать пневматическим путем. Там, где экономически выгодно использовать такие системы, этот способ транспортировки твердых веществ является предпочтительным. Хотя пневматический транспорт вначале применялся только для специализированных отходов, эти системы были разработаны для транспортировки измельченных отходов на крупных промышленных комплексах, а в качестве демонстрационной установки — и для транспортировки коммунального мусора.

Бункера для хранения коммунальных отходов перед загрузкой их в печи должны иметь достаточную вместимость, чтобы поддерживать огонь в промежутки времени, когда мусор не привозят.

С точки зрения экономичности работы установок предпочтительным является непрерывное (в течение суток, а в некоторых случаях и недель) их действие, так как это исключает перепад температур, а следовательно, уменьшает износ огнеупоров. Вместимость бункеров должна быть такой, чтобы снабжать печи отходами в количестве $7,08 \text{ м}^3$ на единицу рабочей производительности установки (1 т/сут).

Бункер расположен между печами и площадкой для разгрузки грузовиков. Для загрузки отходов в печь используют мостовой кран и грейфер. Иногда, по усмотрению оператора, кран и грейфер применяют также для грубого перемешивания мусора внутри бункера.

В конструкцию площадок для разгрузки и хранения мусора было внедрено много усовершенствований. Чтобы исключить возможные неудобства для работающих поблизости людей и обеспечить защиту от непогоды, площадка для разгрузки мусора часто находится под крышей. В нескольких установках для устранения пыли и неприятного запаха в бункерах для хранения отходов поддерживается пониженное давление. Этого можно добиться, выгружая спрессованный в грузозик мусор в бункер по наклонным желобам, входы в которые герметически закрывают после окончания разгрузки, и отбирая из верхней части бункера воздух в печь. При использовании этих приемов уменьшается также возможность заражения рабочих находящимися в воздухе бактериями (см. гл. 3).

Крупные емкости, требуемые для хранения отходов, высокая стоимость кранов и большие расходы на их эксплуатацию, а также

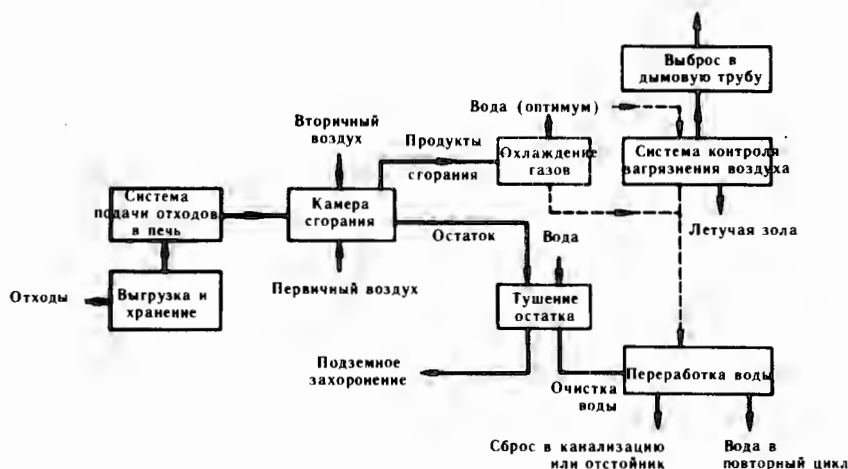


Рис. 6.2. Схема установки для сжигания мусора

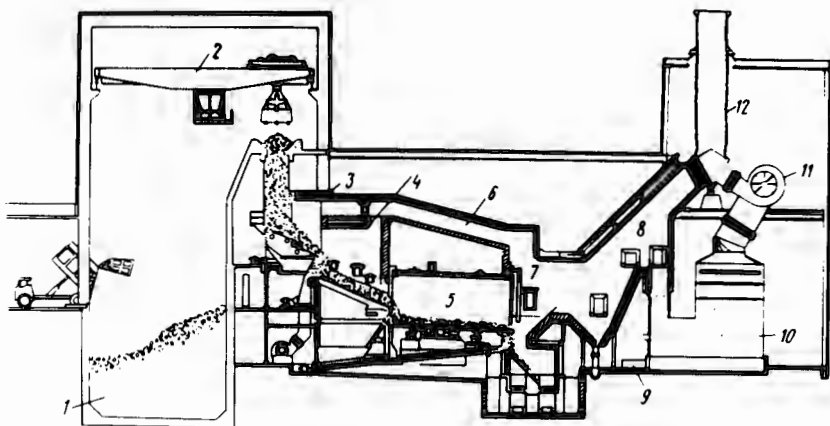


Рис. 6.3. Поперечное сечение установки для сжигания мусора фирмы «Монтгомери каунти». Образцы, подвергаемые коррозионным испытаниям, были погружены в воду в водосливе, идущем со дна скруббера

1 — бункер для хранения отходов; 2 — кран; 3 — колосниковая решетка для сушки отходов; 4 — колосниковая решетка для воспламенения отходов; 5 — вращающаяся обжиговая печь; 6 — обводной канал; 7 — камера смешения; 8 — камера предварительного охлаждения; 9 — образцы, подвергаемые коррозионным испытаниям; 10 — скруббер; 11 — вытяжной вентилятор; 12 — дымовая труба

высокая заработная плата крановщиков — все это делает процесс хранения и транспортировки мусора одним из самых дорогостоящих при сжигании отходов. Совершенно очевидно, что имеется большое поле деятельности для изобретения более совершенной

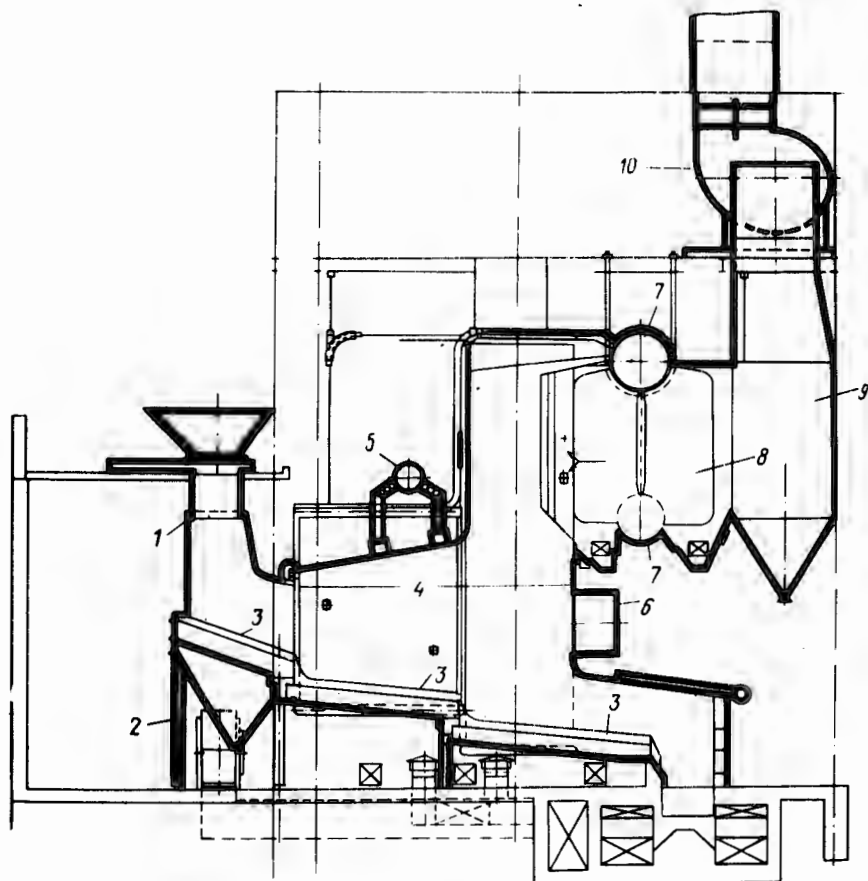


Рис. 6.4. Котел, в котором в качестве топлива использованы отходы производства. Военно-морская база США (Норфолк)

— охлаждаемый водой наклонный желоб; 2 — дутьевой вентилятор; 3 — стокер; 4 — водоохлаждаемые стенки; 5 — трубопровод вторичного воздуха; 6 — нефтяная форсунка; 7 — барабан; 8 — стенд для образцов, испытываемых на коррозию; 9 — коллектор пыли; 10 — вытяжной вентилятор

системы. При опробовании в Англии (г. Бирмингем) системы транспортировки мусора с использованием ленточного конвейера [11] авторы столкнулись с проблемой, связанной с переносом мусора. Разработанная в ФРГ система с использованием вращающихся ковшей [12], по-видимому, не обладает достаточной вместимостью для хранения мусора. В крупных установках для подачи измельченного мусора может быть применена бункерная система, такая, как разработанная Атласом для транспортировки дрезесины и жома сахарного тростника [13].

Система подачи отходов. Подача мусора в печь может быть либо периодической, либо непрерывной. В большинстве установок для сжигания торговых отходов загрузка в печь происходит периодически. Что касается установок для сжигания коммунального мусора, то литературные данные [14] свидетельствуют о тенденции замены печей периодических печами непрерывно действующими (период 1955—1969 гг.).

Непрерывная подача мусора в печь обычно осуществляется под действием силы тяжести через загрузочную воронку и выложенный огнеупорным материалом или охлаждаемый водой наклонный желоб. Находящиеся в загрузочной воронке и желобе отходы обеспечивают воздушное уплотнение. В некоторых установках периодического действия мусор краном подается в загрузочную воронку, откуда он периодически поступает в печь при открывании загрузочной заслонки. Альтернативным способом подачи мусора в печь периодического действия является проталкивание отходов с помощью специального устройства через отверстие в одной из стенок печи.

Периодическая работа печи имеет ряд недостатков. Так, открывание загрузочного затвора обычно сопровождается засасыванием большого количества воздуха, который чрезмерно охлаждает продукты сгорания и приводит к временно высоким скоростям эмиссии горючих веществ. Кроме того, при попадании свежей партии отходов на горячие стенки печи происходит выделение с высокой скоростью продуктов пиролиза. Для небольших установок, однако, практически осуществимой операцией является только периодическая загрузка мусора в печь. В таких случаях рекомендуется использовать воздухонепроницаемые затворы в системе загрузки мусора и (или) при каждой загрузке вводить меньшие количества отходов (для того, чтобы остаться внутри рабочих характеристик системы подачи воздуха).

Колосниковая решетка и подача воздуха. Схема процессов, происходящих на колосниковой решетке, показана на рис. 6.5. Мусор, подаваемый в печь, вначале ссушается и предварительно нагревается за счет излучения от горячих продуктов сгорания и от огнеупоров. Нагретый мусор вначале пиролизуется, а затем возгорается. Горение происходит как на колосниковой решетке для выгорания остатка, так и в газовом объеме для выгорания продуктов пиролиза. Поступающие сверху воздушные струи в значительной степени способствуют смешению и горению в воздушном пространстве над пламенем.

Очевидно, что колосниковая решетка должна выполнять ряд функций: она служит подложкой для мусора; через отверстия в решетке проходит первичный воздух; она транспортирует мусор из наклонного желоба в золоуловитель; с ее помощью перемещается слой мусора, в результате чего свежая порция отходов пере-

¹ Пиролиз относится к процессу термического разложения мусора, который сопровождается выделением продуктов сгорания. Более детально будет описан ниже.

Рис. 6.5. Процессы, происходящие на колосниковой решетке в камере сгорания

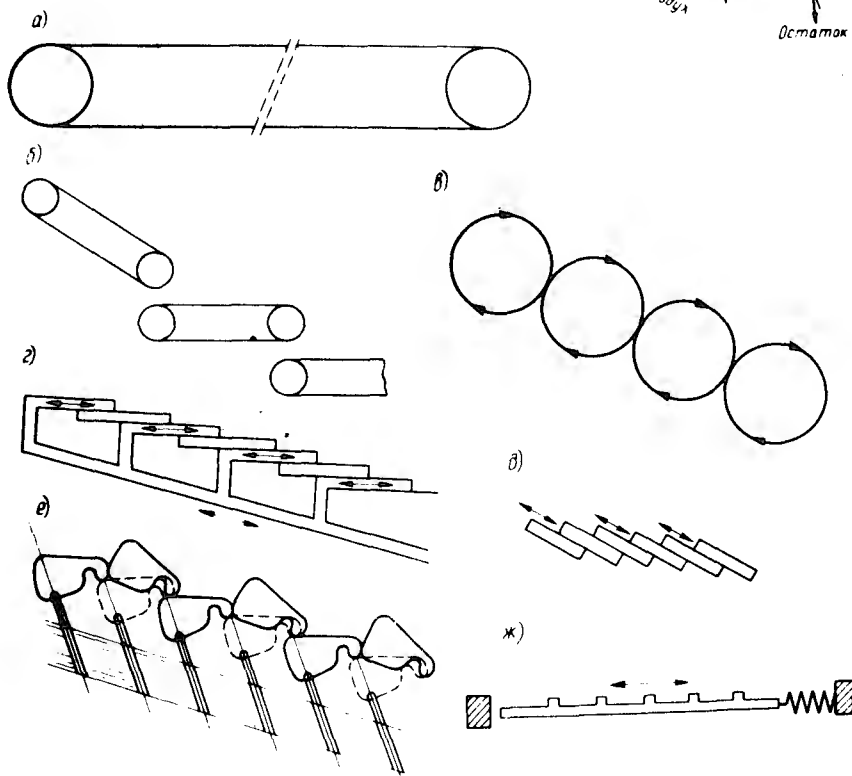
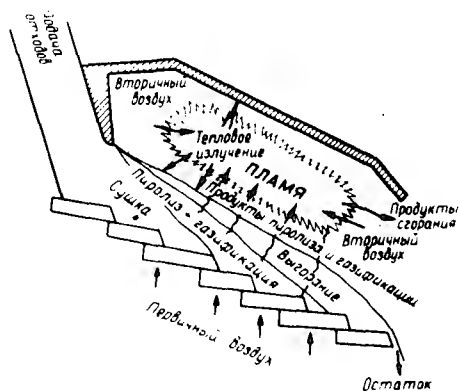


Рис. 6.6. Типы стокеров

а — движущийся колосник (одиночный); б — движущийся колосник (составной); в — вращающийся барабан (Дюссельдорф); г — решетка с возвратно-поступательным движением (прямого действия); д — решетка с возвратно-поступательным движением (обратного действия); е — качающийся колосник (гидравлически управляемый); ж — решетка ударного действия

носится на поверхность. На рис. 6.6 представлены схемы различных конструкций колосниковых решеток, которые используются для сжигания мусора. В практике США общее развитие шло от неподвижных топок к подвижным, качающимся колосникам, а также к решеткам с возвратно-поступательным движением. Тенденция направлена в сторону использования стокеров, которые обеспечивают сильное перемешивание отходов, даже если при этом увеличивается унос твердых частиц из камеры сгорания (но не обязательно из дымовой трубы, так как систему, предотвращающую загрязнение воздуха, можно сконструировать таким образом, чтобы обрабатывать любые выбросы из продуктов сгорания). Перемешивание важно как для увеличения скорости теплопереноса и, следовательно, горения в слое, так и для закрытия «продувных отверстий» на колосниковой решетке (небольшие площадки, где в результате полного выгорания или за счет крупных предметов остаются пространства, через которые может преимущественно проходить первичный воздух).

Варьирование соотношения первичного и вторичного воздуха и распределение воздуха под колосниковой решеткой дает оператору возможность гибко проводить процесс, что, к сожалению, редко применяется. Признание факта [15—17], что повышение скорости воздуха под колосниковой решеткой приводит к увеличению выноса твердых частиц, было использовано для отстаивания другой точки зрения — понижения скоростей первичного воздуха. Однако при небольших скоростях первичного воздуха уменьшаются скорости горения, что может привести к появлению «горячих» точек на колосниковой решетке (с последующим корблением или выгоранием решетки). Скорость первичного воздуха должна быть подобрана таким образом, чтобы уравновесить эти два противоречивых требования. Во многих печах от 60 до 100% требуемого по стехиометрии воздуха подается под колосниковые решетки. Баланс воздуха поддерживается за счет пропускаемого вторичного воздуха. Хотя роль струй вторичного воздуха для улучшения смешения над слоем топлива и для уменьшения выделения дыма была давно известна применительно к угольным топкам, во многих установках для сжигания мусора либо не используют воздушных струй с высокой скоростью, либо направляют их в места, достаточно удаленные от колосниковой решетки, в результате чего далеко не полностью использованный воздух фактически охлаждает недогоревшие газы. Конструкции сопел для пропускания вторичного воздуха были разработаны, частично опираясь на результаты ранее проведенных исследований печей для сжигания угля [18].

Сопла для пропускания вторичного воздуха обычно выполняют двойную функцию: они распределяют воздух над слоем топлива для удовлетворения в данном месте стехиометрической потребности в воздухе и способствуют турбулентному перемешиванию, необходимому для завершения процесса горения. Для типичного коммунального мусора найдено, что варьирование скорости воздуха для обеспечения почти удвоенного по сравнению со стехио-

метрическим количества близко к оптимальному. Если эта величина значительно больше, то возрастает вероятность прекращения реакций в газовой фазе. Если же количество воздуха намного меньше оптимального, то из камеры сгорания будет выделяться газ, обогащенный топливом.

Количество избыточного воздуха, требуемого для сжигания различных типов топлива, зависит от того, насколько легко смешивается топливо с воздухом. Указанные выше значения 100%-ного избытка воздуха, рекомендуемые для сжигания твердых отходов в стандартных колосниковых печах, несколько выше, чем 30%-ный избыток воздуха, применяемый при сжигании крупнотопливного угля, 15—20%-ный избыток при сжигании пылевидного угля и 1—10%-ный избыток при сжигании газа и нефти. В установках для сжигания мусора обычно достигается скорость горения в пределах от 244,1 до 390,6 кг/(ч·м²). Эти значения близки к скоростям, с которыми обычно горит уголь в топках [от 244,1 до 341,8 кг/(ч·м²)].

Время пребывания в печи твердых отходов, необходимое для их полного сгорания, зависит, конечно, как от скорости горения, так и от количества загруженного топлива. В коммунальных установках, где толщина слоя составляет около 1,2 м (что соответствует загрузке колосниковой решетки примерно 292,9 кг/м²), а скорости горения в слое достигают от 244,1 до 390,6 кг/(ч·м²), для полного сгорания отходов требуется, чтобы они находились в печи от 45 до 70 мин. Скорость горения в слоях топлива определяется, в основном, подачей первичного воздуха (иногда скорость возрастает за счет проникания в слой вторичного воздуха) при условии, что размеры отходов не слишком велики. Для предметов, минимальные габариты которых более 8 см, лимитирующей стадией является диффузия тепла в горящие твердые отходы, при этом время горения превышает обычное время пребывания мусора в печах. Хотя специальное оборудование для дробления может быть использовано при переработке сверхкрупных предметов, все же трудно удалить все такие фракции, и поэтому в типичном остатке ожидается небольшое количество несгоревшего материала. Далее кратко обсуждаются несколько альтернатив стандартному процессу, происходящему на колосниковой решетке.

Установка для сжигания мусора при недостатке воздуха. Для того чтобы избежать уноса избыточных количеств твердых частиц из горящего слоя топлива, можно значительно уменьшить скорости пропускания воздуха через колосниковую решетку: эта операция осуществляется в так называемой установке для сжигания мусора при недостатке воздуха. В таких печах сжигание продуктов пиролиза и газификации, выделяющихся из слоя топлива, заканчивается не над горящим слоем, а в побочной камере сгорания. Иногда топливо непосредственно загружают в побочную камеру сгорания для ее использования в периоды времени, когда горят отходы с низкой теплотворной способностью, или в моменты пуска и остановки печи. Установки для сжигания мусора

при недостатке воздуха были успешно применены для ликвидации торговых отходов.

Обжиговые печи. Вращающаяся наклонная обжиговая печь опрокидывающего действия дает возможность транспортировать и перемешивать твердые отходы без применения колосниковых решеток или позволяет заменить последний колосник (см. рис.6.3). Обжиговые печи особенно удобны для переработки смесей твердых и жидких отходов или значительных количеств отходов термопластмасс, которые могли бы расплавиться и забить колосник в стандартной установке для сжигания мусора. Эти печи были успешно применены для переработки смешанных отходов на крупных промышленных комплексах, для окончания выгорания остатка в обычных установках для сжигания отходов, а также для пиролиза по системе "Монсанто Лендгард", который будет рассмотрен ниже.

Печи для сжигания мусора во взвешенном слое. Во взвешенном слое можно сжечь древесную стружку, пластмассовые отходы или измельченный мусор, размеры которого уменьшены до такой степени, что время его выгорания меньше, чем время пребывания продуктов сгорания в топке (примерно 2 с). Указанный критерий размера отходов, которые можно сжечь во взвешенном слое, будет не таким строгим в случае использования вихревых горелок, в которых действуют центробежные силы для поддержания частиц в камере сгорания во взвешенном состоянии в течение определенного времени, когда в камере удерживаются газы. Если весь мусор, который требуется сжечь, тонко измельчен, то оправдывается его сжигание во взвешенном слое в стандартной топке или в вихревой горелке. Если же размеры отходов слишком велики, то применение распределительных решеток позволяет сочетать достоинства колосниковых печей и печей во взвешенном слое. Мусор в виде суспензии впрыскивается в пространство над колосниковым стокером, на который падают более крупные частицы, и сгорает как в обычной печи. Распределительные решетки были применены для сжигания древесных отходов [19].

Сжигание в открытых ямах. Способность струй вторичного воздуха в значительной степени удалять горючие компоненты из газов, поднимающихся из горящего слоя мусора, была использована [20] для уменьшения выделений при сжигании мусора в открытых ямах. Будет ли этот дешевый метод ликвидации мусора иметь практическое применение, зависит от того, смогут ли выделения из таких установок удовлетворять требованиям местных муниципальных органов по охране окружающей среды и совместим ли периодический режим работы такой установки с масштабом рассматриваемой операции ликвидации мусора.

Вихревые установки для сжигания мусора. Горное управление США разработало вертикальную цилиндрическую установку для сжигания специальных отходов. Весь воздух, требуемый для сжигания отходов, подается по касательной над горящим слоем, опускается вниз по спирали через внешнюю часть слоя и поднимается вверх через внутреннюю. Опубликованные в литературе данные о скорости горения отходов для этой конструкции лишь незначительно ниже на единицу поперечного сечения установки, чем скорости горения, достигаемые в обычных колосниковых печах [21]. Такая установка

была разработана первоначально для бумажных отходов; при сжигании бумаги или для любых других отходов, дающих при сжигании сверхизмельченную золу, все инертные компоненты уносятся вместе с продуктами сгорания в систему контроля загрязнения воздуха. Рассматриваемые установки поэтому могут работать непрерывно без остановки для удаления несгоревшего остатка из камеры сгорания.

Камера сгорания. Камера сгорания служит для ограничения пламени и для увеличения переноса излучательной энергии к слою топлива. В США наиболее часто используются камеры со стенками, выложенными огнеупорными материалами. Однако в новых установках водоохлаждаемые стенки все в большей степени заменяют огнеупорные, так как в этом случае устраняются проблемы, связанные с износом огнеупоров при изменении температурного цикла печи. Кроме того, за счет теплопереноса к водоохлаждаемой стенке уменьшается объем газа, поступающего на обработку в систему контроля загрязнения воздуха. Файф и Бойер [22] делают вывод о том, что в печах с водоохлаждаемыми стенками для сжигания коммунальных отходов экономия средств, затрачиваемых на эксплуатацию огнеупорных материалов, на водяное охлаждение и на переработку большого объема газов, превышает расходы на большие первоначальные капиталовложения, когда производительность установок составляет свыше 300 т/сут, даже если нет рынка сбыта для выделяемого тепла. При меньшей производительности печей и при наличии рынка сбыта для выделяемой энергии экономия становится более весомой. Однако при использовании печей с водоохлаждаемыми стенками могут возникнуть серьезные проблемы, связанные с коррозией. Опыт эксплуатации установок для сжигания мусора в Европе [23, 24] показал, что поверхности труб вблизи колосниковой решетки и в пластинах перегревателя часто сильно корродируют и требуют замены всего после 1000 ч их эксплуатации. Часто основным виновником коррозии считается HCl, выделяющийся в процессе сжигания хлорсодержащей пластмассы, однако на самом деле проблема это гораздо более сложная [10, 25]. В настоящее время полагают, что на скорость коррозии основное влияние оказывают высокие концентрации щелочных металлов, свинца и цинка в осадках на стенках труб печей, в которых сжигают мусор. Хотя мусор является топливом с низким содержанием серы, тем не менее сера имеет тенденцию накапливаться в осадках на стенках, увеличивая вероятность протекания щелочно-сульфатной коррозии. Данные табл.6.7 показывают, что эти осадки могут содержать высокие концентрации щелочных металлов, тяжелых металлов и серы. На рис.6.7 приведена диаграмма аналогичного распределения концентрации осадков на лопатках и корпусе вытяжного вентилятора установки для сжигания отходов, изображенной на рис.6.3. Кроме того, степень коррозии зависит от температуры металла, из которого изготовлены трубы, и от атмосферы печных газов (восстановительная или окислительная). Предполагается, что наиболее серьезные проблемы, связанные с коррозией, возникают при температурах металла, превышающих 480°C в окислительной среде, и при температурах порядка 360–370°C в восстановительной атмосфере. Ряд мер можно предпринять для уменьшения коррозии металлов, из которых изготовлены трубы. К ним относятся: а) создание путем правильного размещения сопел для

Таблица 6.7. Составы осадков на металлических поверхностях труб различных американских и европейских бытовых установок для сжигания мусора [10],
% по массе

Компоненты	Норфолк (один цикл)	Оушн- сайд (один цикл)	Майами, Огайо (один цикл)	Штутгарт		Мюнхен		Дюссельдорф		Эссен (печь)
				Печь	Перегре- ватель	Печь	Перегре- ватель	Печь	Перегре- ватель	
SiO ₂	36,5	6	5,3	24	14,5	12	18,5	20	15	52,54
Al ₂ O ₃	17,5	4	9,4	11	10	5	11	14	15	22,47
Fe ₂ O ₃	12	18	10,7	12,5	5,2	24	3,5	5,5	4	12,04
CaO	10	1,8	1,4	11	8,1	9	10,8	8,8	11	8,2
MgO	0,9	0,9	—	2,21	2,68	1,59	2,46	1,99	2,75	1,19
Na ₂ O	3,51	5,12	10,1	0,08	0,1	2,97	3,37	3,99	3,4	1,81
K ₂ O	3	13	18,1	5,58	8,66	8,97	12,12	8,27	7,58	3,18
PbO	0,67	5,12	10,8	2,69	9,21	4,96	2,96	5,92	3,42	—
ZnO	7,44	9,65	9,3	4,97	8,09	4,99	5,23	8,09	6,48	—
P ₂ O ₅	1,71	0,6	—	0	0	1,14	0	0,5	2,06	1,05
TiO ₂	2	0,5	—	1,05	0,6	0,4	0,6	0,75	1,8	0,91
SO ₃	8,4	26,1	20,6	18,86	32,89	21,71	33,58	30,49	34,64	0,14
Cl	0,2	1,58	1	0	0	0	0	0	0	0

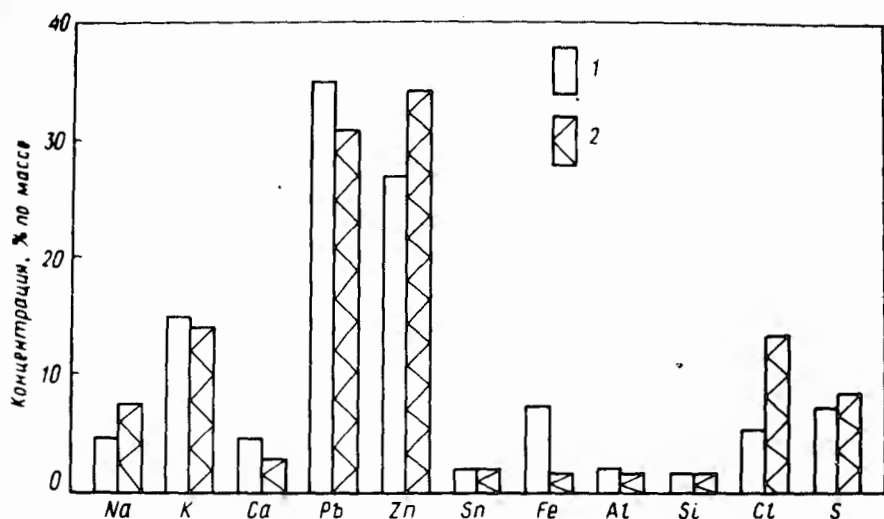


Рис. 6.7. Состав осадков на вытяжном вентиляторе установки для сжигания мусора, установленной в округе Монтомгери

1 — лопасти вентилятора; 2 — корпус вентилятора

подачи вторичного воздуха условий, при которых исключена возможность обогащения продуктов сгорания топливом; б) нагрев трубы до температур, превышающих температуры конденсации серной или соляной кислот (150°C было бы достаточно), но ниже 260°C для минимизации сильной коррозии, которая может иногда протекать при более высоких температурах; в) защита труб, подверженных сильной коррозии, покрытиями из карборунда или нержавеющей стали. Результаты испытаний различных сплавов, состав которых приведен в табл.6.8, показаны на рис.6.8 и в табл.6.9 и 6.10.

Определенные меры предосторожности следует также предпринимать для защиты огнеупорных поверхностей от воздействия шлака. Огнеупоры из карборунда наилучшим образом защищают стенки на уровне колосниковой решетки. Из-за высокой теплопроводности этих огнеупоров их можно охлаждать воздухом, продуваемым через отверстия в стенках печи. Огнеупорные поверхности над карборундом необходимо защищать от воздействия шлака, уменьшая температуры газов до $980\text{--}1010^{\circ}\text{C}$, что ниже температуры плавления шлака (табл.6.11–6.13).

Объем камеры сгорания определяется временем, требуемым для полного сгорания продуктов пиролиза и газификации, выделяющихся из слоя горящего мусора (или временем, необходимым для сжигания самой крупной частицы в установке для сжигания отходов во взвешенном слое). Время, необходимое для полного сгорания газов, выделяемых из горящих на колосниковой решетке отходов, лимитируется как кинетикой процесса, так и полнотой смешения. При температурах выше 760°C скорость окисления газообразных компонентов обычно достаточно большая, однако для горения твердых углеродсодержащих веществ требуются более высокие температуры, чем эти. Для характерных температур газов 870°C или выше в уста-

новке для сжигания мусора лимитирующим фактором становится время смешения. Типичное время пребывания материала — около 2 с, однако оно может быть больше или меньше в зависимости от уровня турбулентности. Смешению воздуха в камере сгорания как на макро-, так и на микроуровне могут содействовать применение струй вторичного воздуха и использование сводов и сужений на пути газового потока для предотвращения его расслоения. Тепловой поток в камерах сгорания коммунальных установок колеблется от 550 до 750 МДж/ч на 1 м³.

Камеры сгорания установок для сжигания мусора должны быть хорошо герметизированы.

Переработка остатка. В первом приближении остаток — это сложная смесь золы компонентов сжигаемого мусора. Данные анализов остатка [9] и шлака (см. табл. 6.13) показывают, что их составы близки к составам типовых коммунальных отходов (см. табл. 6.12). Распределение по размерам отобранных остатков было опубликовано Кайзером и др. [9]. Они обнаружили, что при высокотемпературном сжигании мусора количество клинкера, образующегося в результате плавления и агломерации остатка на колосниковой решетке, значительно выше. На ряде установок, особенно в Европе, из остатка утилизируются металлы, а в некоторых случаях остаток разделяют по размерам с целью его использования, например, в качестве заполнителя при сооружении дорожных покрытий. Следует, однако, отметить, что качество стали, выделенной после сжигания отходов, ухудшается в результате диффузии загрязняющих веществ в металл. Выделение различных материалов из образующегося в печи несгоревшего остатка приобретает в США всевозрастающее значение [28]. В Лоуэлле (шт. Массачусетс) проводятся исследования этой возможности, субсидируемые Агентством охраны окружающей среды. Во многих случаях, однако, остаток настолько плохо обожжен, что процесс выделения из него материалов оказывается слишком дорогим. Такой остаток необходимо захоронить.

Остаток, образующийся при сжигании коммунальных отходов, обычно тушится водой, а затем извлекается из воды либо цепным конвейером, либо с помощью механизма возвратно-поступательного действия. Путем соответствующего подбора углов и скоростей перемещения остаток можно охладить и высушить перед погрузкой на конвейер.

Рис. 6.8. Данные, характеризующие скорости коррозии труб, изготовленных из различных сплавов

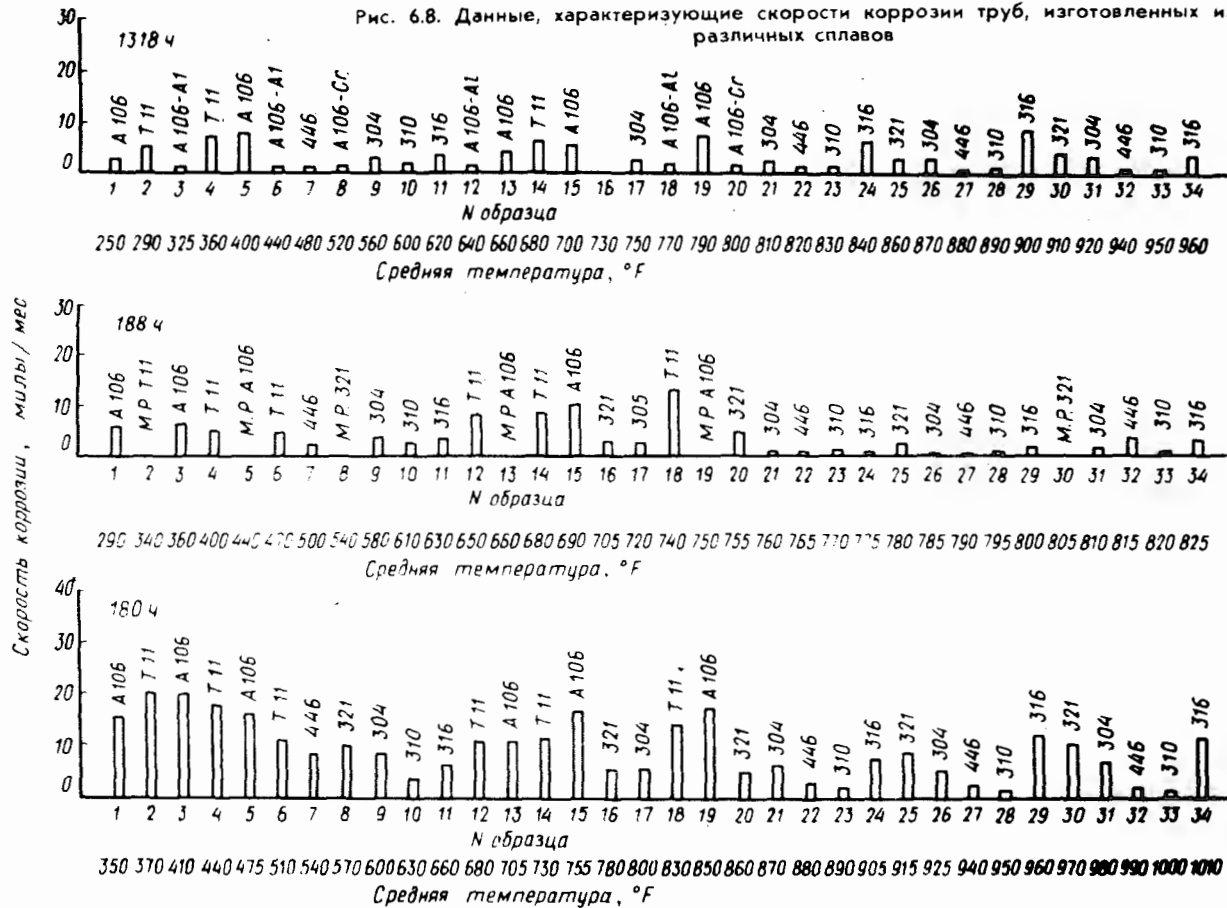


Таблица 6.9. Характеристика сплавов, используемых в камерах сгорания

Сплав	Коррозионная стойкость		
	150—315°C	315—650°C	Влажный осадок
Инколой 825	Хорошая	Удовлетворительная	Хорошая Образование раковин
Тип 446			
Тип 310			
Тип 316 L		Плохая	Растрескивание под нагрузкой
Тип 304			
Тип 321	Удовлетворительная	Плохая	Образование раковин
Инконел 600			
Инконел 601			
Тип 416		Удовлетворительная	
A-105, марка В (углеродистая сталь)			
A-213, марка Т11 (углеродистая сталь)			

Таблица 6.10. Характеристика сплавов для скрубберов, используемых в установках для сжигания отходов

Сплав	Коррозионная стойкость	
	Скрубберные растворы	Осадки на вентиляторе
Ti 6 Al-4 V	Хорошая	Хорошая
Хастеллой G		
Инконел 625		—
Хастеллой F		—
Хастеллой C-276		—
Хастеллой G	Образование раковин	—
Ti 75 A		Образование раковин
S-816		
Карпентер 20	Образование раковин	Образование раковин, растрескивание под нагрузкой
Инколой 825		Образование раковин
Инколой 800	—	
316 L	Образование раковин, растрескивание под нагрузкой	Образование раковин, растрескивание под нагрузкой

Сплав	Коррозионная стойкость	
	Скрубберные растворы:	Осадки на вентиляторе
210	} Образование раковин	—
446		—
Инконел 600	} Образование канавок	—
Инконел 601		—
Армко 22-13-5	} Образование раковин	} Образование раковин, растрескивание под нагрузкой
155 18-18-2		
Тип 304	Образование раковин, растрескивание под нагрузкой	

Таблица 6.11. Температуры размягчения и плавления золы для образцов коммунальных отходов Сан-Луиса, °C [10]

Показатели	Образец 1		Образец 2		Образец 3	
	окислительная среда	восстановительная среда	окислительная среда	восстановительная среда	окислительная среда	восстановительная среда
Деформация	1115	1050	1100	1070	1120	1060
Превращение в жидкость	1360	1320	1375	1315	1480	1390

6.1.3. КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Современные установки для сжигания отходов должны удовлетворять самым строгим нормам контроля загрязнения воздуха.

Количество загрязняющих воздух веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании 1 т твердых отходов, кг

Твердые частицы	0,7
Окислы серы	0,7
Оксид углерода	15,9
Углеводороды	0,7
Окислы азота	0,9
Хлористый водород (расчет)	0,3
Хлористый водород (расчет)	0,9

¹ Предполагается выделение 13,6 кг. Было сделано допущение, что электростатический осадитель эффективностью 95% улавливает 12,9 кг твердых частиц, уносимых из печи в виде твердых отходов.

Таблица 6.12. Состав золы и температуры плавления компонентов типичных коммунальных отходов [3]

Показатели	Стекло			Отходы, мелкие кости	Гофри- рованный картон	Смешан- ная бумага *	Дерн и грязь	Тек- стильные изделия	Плотная пласт- масса, кожа и т. д.	Кости и скорлупа моллю- сков
	бесцвет- ное	корич- невое	зеленое							
Температуры плавления по ASTM, °C:										
начальная	805	880	890	1105	1125	1180	1140	1115	1150	1540
размягчение	870	925	940	1150	1160	1240	1205	1160	1180	1540
превращение в расплав	1005	1140	1140	1205	1225	1360	1270	1225	1260	1540
Состав, % по массе:										
SiO ₂	74,11	71,86	75,21	46,35	47,92	48,27	61,5	38,85	14,18	63,4
Al ₂ O ₃	4,97	6,21	9,42	4,29	6,97	7,02	6,98	5,71	6,22	0,84
CaO	9,36	11,7	8,62	20,7	18,08	11,7	12,87	23,65	31,04	23,9
TiO ₂	0,09	0,04	0,03	2,86	4,28	3,21	1,69	3,14	2,09	0,98
MgO	Следы	Следы	Следы	1,04	7,21	8,69	1,83	0,62	9,23	Следы
BaO	8,16	0,43	0,02	11,06	9,62	8,94	7,61	9,34	8,71	4,28
VaO	0,07	0,08	0,11	0,02	0,41	0,03	0,37	0,07	0,04	0,09
Na ₂ O	2,09	6,02	4,31	5,01	3,26	5,72	2,09	3,84	4,19	0,7

Продолжение табл. 6.12

Показатели	Стекло			Отходы, мелкие кости	Гофри- рованный картон	Смешан- ная бумага *	Дерн и грязь	Тек- стильные изделия	Плотная пласт- масса, кожа и т. д.	Кости и скорлупа моллю- сков
	бесцвет- ное	корич- невое	зеленое							
K_2O	0,05	0,82	0,74	5,16	0,27	4,29	1,14	5,16	1,04	0,04
ZnO	0,03	0,02	0,04	0,32	0,39	0,41	0,53	0,01	1,84	0,02
P_2O_5	0,09	0,08	0,06	2,02	0,14	0,39	2,28	0,06	0,06	3,75
SO_3	0,14	0,27	0,18	0,21	0,12	0,14	0,08	0,37	0,16	0,32
Всего	99,16	98,53	98,74	99,04	98,67	98,81	98,97	98,82	98,80	98,32

* Вся бумага, за исключением газетной и гофрированного картона.

Таблица 6.13. Состав шлаков, % по массе

Оксид	Шлак (непрерывная подача) [26]	Шлак (периодическая подача) [26]	Усредненные данные для 25-ти шлаков [26]	Шлаки [27]
SiO ₂	37,1	20,9	44,73	46,3
Al ₂ O ₃	7	15,2	17,44	18,35
CaO	7,7	12,7	10,52	9,94
Fe ₂ O ₃	40	1,8	9,26	8,85
TiO ₂	0,55	2,4	2,92	2,9
MgO	1,2	2,4	2,1	2,54
BaO	Следы	Следы	Следы	0,58
Na ₂ O, K ₂ O	5,36	17,23	8,14	4,61
ZnO	0,2	6,3	1,54*	1,37
P ₂ O ₅	0,6	0,7	1,52	2,15
SO ₃	0,55	20,4	3,69*	0,96**
MnO ₂	0,3	0,44	0,29	—
CuO	—	0,3	Следы	—
PbO	—	0,2	Следы	—
Итого	100,56	100,97	102,15	98,55

* 6 образцов.

** 2 образца.

Основной проблемой, связанной с выделениями из установок для сжигания мусора, остается выброс в атмосферу твердых частиц, количество которых в масштабах всей страны относительно мало, однако в некоторых городах может составить до 20% общей суммы выделений. Выброс горючих загрязняющих веществ, таких как окись углерода, углеводороды и сажа, можно уменьшить в хорошо сконструированных установках путем улучшения процесса сгорания внутри самой печи. Другие газообразные загрязняющие вещества, например окислы азота, хлористый водород и двуокись серы, выделяются в небольших количествах и поэтому не представляют собой проблемы.

Твердые частицы. Эмиссия твердых частиц связана с содержанием в отходах тонкодисперсной золы, с конструкцией установки, а в случае колосниковых печей — и со скоростями первичного воздуха. В типичной коммунальной установке для сжигания мусора из камеры сгорания выделяется примерно 6,8 кг твердых частиц на 1 т загруженного мусора. Однако в ФРГ были опубликованы данные о том, что в зимнее время, когда загруженный мусор содержал до 60% золы из бытовых угольных топок, твердых частиц из печи выделялось до 59 кг на 1 т мусора.

Исторически единственными нормами, которым должны были удовлетворять печи для сжигания мусора, были «анализы дыма по Рингельманну», хотя многие установки были спроектированы для соблюдения нормы ASME 1949 г.: 0,39 кг твердых веществ на 454 кг топочных газов при 50%-ном избытке воздуха. Это соответствует примерно 4,1 кг летучей золы, выделяемой на 1 т мусора, или требуемая эффективность улавливания золы, выбрасываемой из камеры сгорания, должна составлять 55%. Национальные стандарты США, опубликованные в декабре 1971 г. [29], требуют, чтобы в новых установках с производительностью более 50 т/сут выбросы твердых частиц не превышали 5,1 г на нормальный кубический фут (0,028 м³) при 12% CO₂. В некоторых штатах США действуют еще более строгие стандарты. По действующему в настоящее время национальному стандарту на 1 т мусора должно выделяться 0,86 кг твердых частиц, что соответствует требуемой эффективности 90%. Макрочастицей называют любое тонкоизмельченное жидкое или твердое вещество, кроме несвязанной воды, улавливаемое с использованием стандартной операции пробоотбора Агентства охраны окружающей среды [29].

Частичный контроль выделений можно осуществлять путем понижения скорости первичного воздуха и (или) перемешивания слоя, уменьшая, таким образом, выбросы из камеры сгорания. Однако наиболее эффективным способом переработки является удаление твердых частиц из продуктов сгорания. Чтобы определить эффективность установок по контролю загрязнения воздуха, необходимо знать, как распределяются выделяющиеся из печи частицы по размерам. На рис. 6.9 сопоставлены данные о распределении по размерам частиц летучей золы, полученные на трех американских установках для сжигания мусора [30], с усредненными величинами для европейских установок. Из анализа ограниченного числа данных очевидно, что в США выбросы содержат больший процент тонкодисперсных твердых частиц (возможно вследствие того, что в мусоре больше газетной и журнальной бумаги, в которую входят тонкоизмельченные пигменты и наполнители). В связи с тем что эффективность улавливания большинства установок по контролю загрязнения воздуха падает с уменьшением размера частиц (табл. 6.14), задача достижения очень высокой эффективности улавливания для американских установок более актуальна, чем для европейских. Хотя ряд различных коллекторов могут удовлетворять требованиям национальных стандартов относительно выбро-

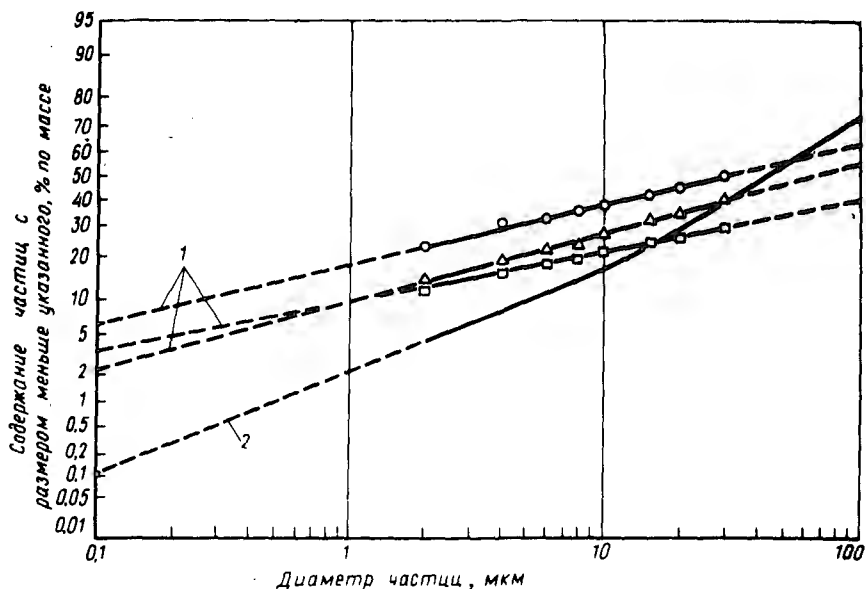


Рис. 6.9. Распределение по размерам выделяющихся из печи частиц
1 — данные США; 2 — европейские данные (Андрицки)

сов из печей, в настоящее время задача коммунальных фирм заключается в оборудовании новых печей наиболее эффективными, проверенными устройствами для улавливания твердых частиц. Три типа таких устройств были успешно применены в США на установках для сжигания мусора. К ним относятся электростатические осадители, рукавные фильтры и скрубберы с большим перепадом давления. Такими высокоэффективными устройствами в конце 1971 г. были снабжены 6 из 250 действующих установок для сжигания

Т а б л и ц а 6.14. Эффективность устройств для улавливания твердых частиц, % [31]

Устройство	Размеры частиц, мкм		
	50	5	1
Инерционный коллектор	95	16	3
Высокоэффективный циклон	96	73	27
Скруббер с разбрызгивающим устройством	99	94	55
Скруббер с насадкой	>99	98	58
Электростатический осадитель	>99	99	86
Скруббер Вентури (высокоэнергетический)	100	>99	98
Низкоскоростной рукавный фильтр	100	>99	99

мусора, однако в настоящее время их число быстро увеличивается. Многие установки оборудованы менее эффективными скрубберами, сухими и влажными расширительными камерами, влажными диффузорами, распылителями и циклонами. Необходимость замены старых устройств более эффективными — это основная проблема, с которой сталкиваются в настоящее время многие фирмы. Эта техника была опробована с точки зрения удовлетворения стандартам, касающимся выделения твердых частиц. Исследования, проведенные Агентством охраны окружающей среды или подрядчиками [37], показали, что выделения твердых частиц из двух американских установок для сжигания бытовых отходов, снабженных электростатическими осадителями, составляют 4,5—5,8 г, а из европейских 3,2—4,5 г на нормальный кубический фут (0,028 м³) при 12% СО₂. Независимые исследования большего числа установок для сжигания мусора подтверждают вывод о том, что можно легко достичь эффективностей улавливания 98—99% и выше.

Системы охлаждения газов. Газы, поступающие на обработку в рукавные фильтры, механические циклоны или электростатические осадители, должны быть предварительно охлаждены до температур в диапазоне 230—370°C в зависимости от конструкции устройства для улавливания твердых частиц. В печах с водоохлаждаемыми стенками это охлаждение осуществляется за счет излучательного и конвективного теплопереноса к охлажденным поверхностям труб. В камерах сгорания со стенками из огнеупорных материалов газы охлаждают избытком воздуха примерно до 980°C (чтобы максимально уменьшить воздействие шлака на огнеупорные поверхности); дальнейшее понижение температуры газов до значений, при которых возможна их переработка в устройствах для улавливания твердых частиц, можно осуществить путем разбавления газов воздухом или испарения воды. Принцип применения в современных установках воздушного охлаждения непрактичен, так как при этом примерно вдвое возрастает объем перерабатываемых топочных газов. В то же время водяное охлаждение приводит примерно к 40%-ному уменьшению объема, так как сжатие газов вследствие уменьшения температуры при испарении воды больше, чем происходящее при этом увеличение массы топочных газов. Количество испаряемой воды, требуемой для уменьшения температуры газов до желаемого диапазона, для типичного мусора, сжигаемого в присутствии 100%-ного избытка воздуха, составляет от 2 до 2,5 кг на 1 кг мусора.

Распространены две конструкции системы водяного охлаждения: с влажным дном и с сухим дном. В системе с влажным дном вода в количествах, в 2 раза превышающих требуемые для охлаждения, нагнетается через группу крупных распылительных форсунок, расположенных в газоходе, ведущем к системе контроля по загрязнению воздуха. Избыток воды собирается на дне газохода, и он должен быть обработан перед сбросом или повторным возвращением в цикл. Необходимость переработки водного потока, имеющего

сильнокислую реакцию за счет поглощения HCl и органических кислот ($\text{pH} < 2$) и загрязненного твердыми частицами, — основной недостаток системы с влажным дном. Однако эта система дешевле в монтаже и проще в эксплуатации по сравнению с системой с сухим дном, в которой вода в требуемых количествах впрыскивается в виде достаточно мелкой водяной пыли, что позволяет достичь полного испарения капель. Время пребывания капель, требуемое для их испарения, обеспечивается с помощью градиентной высотой от 9,1 до 27,4 м. Сухая система требует высоких избыточных давлений воды — от 690 до 4140 кПа. Кроме того, вода должна быть отфильтрована, чтобы предотвратить засорение тонких распылительных форсунок.

Так как размер системы контроля загрязнения воздуха связан с объемной скоростью потока обрабатываемых газов, то интересно оценить относительные объемы газов, выходящих из различных систем охлаждения. Для 1 т мусора усредненного состава, сжигаемого с 50%-ным избытком воздуха в печи с водоохлаждаемыми стенками, объем газов, поступающих при 260°C в систему контроля, составляет около 7645 м^3 ; для камеры сгорания с огнеупорными стенками при 100%-ном избытке воздуха и водяном охлаждении до 260°C этот объем будет около $15\,850 \text{ м}^3$, а для печи с огнеупорными стенками при 100%-ном избытке воздуха и воздушном охлаждении объем газов до той же температуры составляет примерно $50\,970 \text{ м}^3$. Таким образом достигается значительная экономия при работе с небольшим избытком воздуха и исключении охлаждающей жидкости или минимизации ее количества.

Газообразные загрязняющие вещества. В настоящее время (1974 г.) не существует абсолютных норм относительно газообразных загрязняющих веществ, выделяющихся из установок для сжигания мусора, однако руководства по этому вопросу были опубликованы. Проблему можно оценить, рассматривая стандарты по эмиссии из других стационарных источников [32]. Национальные стандарты, касающиеся норм выделений двуокиси серы из крупных стационарных источников, регламентируют $0,36 \text{ кг}$ на 1 млн. британских тепловых единиц ($1 \text{ BTE} = 1,055 \text{ кДж}$) для топок, работающих на нефти, и $0,54 \text{ кг}$ для топок, работающих на угле. SO_2 из установок для сжигания мусора [7] выделяется меньше $0,14 \text{ кг}$ на 1 млн. БТЕ, что существенно ниже указанных стандартных значений, так что отходы можно рассматривать как топливо с низким содержанием серы [25]. Нормы выделений окислов азота (обозначаемых как NO_2) изменяются (на 1 млн. БТЕ) от $0,09 \text{ кг}$ для котлов, работающих на газе, до $0,32 \text{ кг}$ для угля. В среднем из коммунальных установок для сжигания мусора выделяется примерно $0,18 \text{ кг NO}_2$ на 1 млн. БТЕ [14] — значение, промежуточное между рекомендуемыми стандартами для угля и газа. Общее количество окислов азота, выделяющихся из установок для сжигания мусора, составляет всего 3% от общего по стране. Серьезные проблемы могли бы возникнуть при выделениях галоидводородных кислот, если не

Таблица 6.15. Составы топочных газов

	Округ Майами	Ошенсайд	Норфолк
SO ₂ , млн ⁻¹	2—303	0—100	0—10
HCl, млн ⁻¹	5—115	1—330	14—75
HF, млн ⁻¹	Следы— 0,6	Следы— 1,1	Следы— 6
Окислы азота, млн ⁻¹	10—138	107 *	4—7
Органические кислоты, млн ⁻¹	35—136	Не измерено	150—340
Кислород, % по объему	15—9,5	17—8	16,5—15
CO ₂ , % по объему	6—10,8	3,5—12	3,9—5,6
CO, % по объему	Следы— 0,2	0,005 *	0,1—0,2

* Одиночные измерения.

принять мер для уменьшения этих выбросов. К счастью, галоидводородные кислоты легко поглощаются при водной промывке газов, и скрубберы для их удаления могут быть без труда подключены в систему контроля по загрязнению воздуха. Составы топочных газов зависят от состава исходного сырья, конструкции установки и условий ее эксплуатации (табл. 6.15).

6.1.4. ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА И ПРОИЗВОДСТВО ЭНЕРГИИ

В течение уже многих лет практикуется извлечение энергии при сжигании специализированных отходов, особенно древесной стружки. Особенно большой интерес эта проблема вызывает в странах с более дорогим, чем в США, топливом, особенно в Западной Европе и Японии. Вследствие нехватки нефти и газа для бытовых нужд и увеличения при этом стоимости энергии проблема ее выделения из твердых отходов становится все более актуальной и в США. Для того чтобы оценить в перспективе возможность получения такой энергии, следует отметить, что доступная энергия во всех коммунальных твердых отходах США составляет примерно $1,69 \cdot 10^{15}$ кДж в год, или меньше 3% общей потребности США в энергии. Можно сделать вывод о том, что сжигание твердых отходов может стать существенным источником энергии, однако само по себе не обеспечит разрешения энергетического кризиса. Можно также отметить, что при сжигании отходов углерод возвращается в атмосферу быстрее, чем при их захоронении в землю, что позволяет ускорить природный процесс кругооборота углерода за счет фотосинтеза (хотя вклад сжигания в кругооборот углерода является несущественным).

Доля теплотворной способности мусора, которую можно выделить в виде энергии, зависит от его общей теплотворной способности, избытка воздуха, используемого при сжигании, температуры дымовых газов и потерь тепла в технологическом оборудовании. Для иллюстрации ожидаемого к. п. д. выделения энергии применен упрощенный энергетический баланс. В качестве основы для расчетов выбран 1 фунт мусора (0,454 кг); ΔH — низшая теплотворная способность; n — число фунтов воздуха, используемого при сжигании; T_s — температура дымовых газов, °F; ε — доля теплотворной способности мусора, теряемой в печи; i — содержание в мусоре инертных компонентов. Масса продуктов сгорания равна $(n+1-i)$ и имеет среднюю теплоемкость, примерно равную 0,32 БТЕ/(фунт·°F) (1,34 кДж/(кг·°C)). Тогда часть η теплотворной способности мусора, которую можно выделить в виде энергии, рассчитывается по следующему уравнению:

$$\eta = (1 - \varepsilon) \frac{\Delta H - 0,32 (n + 1 - i) (T_s - 60)}{\Delta H}.$$

Для иллюстрации следствий применения этой формулы использованы два примера.

а. Для полимера с низким содержанием инертных компонентов ($i=0$), сжигаемого во взвешенном состоянии с 30%-ным избытком воздуха, приемлемые значения $\Delta H=18\,500$ БТЕ/фунт (43 105 кДж/кг) и $n=19$ фунтов (8,6 кг). При реальной температуре дымовых газов 350°F (175°C) и 5%-ной потере тепла в печи ($\varepsilon=0,05$) к. п. д. освобождаемой энергии составляет 85%; это соответствует производству примерно 13 фунтов (кг) пара на фунт (кг) мусора.

б. Для коммунальных твердых отходов, сжигаемых со 100%-ным избытком воздуха, $\Delta H=3900$ БТЕ/фунт (9097 кДж/кг), $i=0,2$, $n=6,4$ фунта (2,9 кг), и при температуре дымовых газов 350°F (175°C) и потере тепла в печи 10% ($\varepsilon=0,1$) к. п. д. выделения энергии составляет примерно 75%; это соответствует производству примерно 2,5 фунтов (кг) пара на фунт (кг) мусора.

Экономика получения энергии при ликвидации твердых отходов зависит, в основном, от стоимости энергии, от местной потребности в энергии и от того, насколько легко можно распределять выделенную энергию. Как правило, пар можно использовать только в непосредственной близости от вырабатывающей его установки (если нет в наличии парораспределительной системы). Часть полученного пара можно использовать непосредственно на установке для обогрева, в воздухоподушках, приводимых в движение турбиной, и в турбинных генераторах. Продажа оставшегося пара облегчается, когда установка для сжигания мусора располагается вблизи основных потребителей пара, таких как коммунальные предприятия, больницы, жилые или административные комплексы, электростанции, вырабатывающие электроэнергию для бытовых нужд, и военные объекты (см. рис. 6.4).

Альтернативой производству пара является получение транспортной энергии. В настоящее время разрабатываются процессы

**Таблица 6.16. Рабочие характеристики некоторых установок
для сжигания мусора, вырабатывающих пар [10, 14]**

Установка	Произ- води- тельность, т/сут	Описание печи	Избыточ- ное дав- ление пара, кПа	Темпе- ратура пара, °C	Избыток воздуха, %
Ошенсайд, шт. Нью-Йорк	600	Огнеупорные стенки. — качающаяся колоснико- вая решетка	3174	240	128
Норфолк, шт. Вирджиния	360	Водоохлаждаемые стен- ки — колосниковая ре- шетка возвратно-посту- пательного движения с прямой подачей	2070	216	50
Исси-де- Мулино	1800	То же, с обратной по- дачей	6382	410	100
Роттердам	1540	»	3429	427	60
Дюссельдорф	1000	Водоохлаждаемые стен- ки — вращающаяся ко- лосниковая решетка	8832	500	100
Мангейм	1000	Водоохлаждаемые стен- ки — движущаяся ко- лосниковая решетка	4402	450	100
Северный Мюнхен	1300	Водоохлаждаемые стен- ки — колосниковая ре- шетка возвратно-посту- пательного движения с обратной подачей	20 14з	540	80

для превращения энергии в отходах в газообразные или жидкие топлива путем пиролиза или в электроэнергию с помощью газовых турбин, приводимых в движение продуктами сгорания мусора под высоким давлением. Эти процессы будут обсуждены позже.

С практической точки зрения, сжигание мусора является первым и самым основным способом разрешения проблемы ликвидации отходов, а выделение энергии следует рассматривать как выгодный побочный процесс, когда местные условия делают этот процесс рентабельным. Так как стоимость топлива за 1 млн кДж возросла от 0,25 до 2,5 долл. для некоторых современных продаваемых нефтепродуктов, то потенциальная стоимость выделенной при сжигании мусора энергии возросла от 1,5 до 15 долл. за 1 т коммунального мусора; если такие цены сохранятся, то это значительно повысит рентабельность процесса сжигания мусора с выделением тепла.

В табл. 6.16 приведены характеристики некоторых установок для сжигания мусора с получением пара.

**Таблица 6.17. Номинальные рабочие характеристики печей
для сжигания мусора с водоохлаждаемыми стенками**

Местоположение	Избыточное давление пара, кПа	Темпера- тура пара, °C	Темпера- тура метал- лической стенки (при- ближенная), °C
Милан, Италия	3 450	450	475
Мангейм, ФРГ	12 420	525	555
Франкфурт, ФРГ	6 624	500	525
Мюнстер, ФРГ	7 590	525	555
Мулино, Франция	6 417	410	440
Эссен Карнап, ФРГ	—	500	525
Мюнхен, ФРГ	7 590	525	555
Штутгарт, ФРГ	18 285	540	565
Роттердам, Нидерланды	2 760	360	390
Эдмонтон, Англия	4 312	455	480
Ковентри, Англия	1 897	215	240
Амстердам, Нидерланды	4 140	410	440
Монреаль, Канада	1 552	200	230
Чикаго, Иллинойс	1 828	210	240
Ошенсайд, Нью-Йорк	3 174	240	270
Норфолк, Вирджиния	1 207	190	220
Брейнтри, Массачусетс	1 828	210	240
Гаррисбург, Пенсильвания	1 897	240	265
Гамильтон, Онтарио	1 725	205	230

Установка в Ошенсайте имеет камеру сгорания с огнеупорными стенками. В выложенной огнеупорным материалом трубе, через которую продукты сгорания выходят из камеры сгорания, расположены конвекционные котлы. Температура получаемого пара лежит в диапазоне, рекомендуемом для минимизации коррозии. Установка была сконструирована с целью получения 2500 кВт для внутренних нужд; избыточный пар используется для опреснения воды. Установка, расположенная на военно-морской базе США в Норфолке (см. рис. 6.4), снабжает паром корабли в доках. Как и в

ошенсайдской установке для сжигания отходов, температуры пара в Норфолке умеренные, и поэтому не возникает проблем, связанных с коррозией. Норфолкская установка представляет собой печь с водоохлаждаемыми стенками; характеристики некоторых таких установок приведены в табл. 6.17. В крупных установках, сконструированных для подачи электроэнергии в центральную сеть, работа, как правило, проводится под высоким давлением (и при большой температуре), и поэтому здесь часто сталкиваются с проблемами коррозии, особенно в высокотемпературных зонах труб перегревателя. Возможны два способа предотвращения высокотемпературной коррозии, когда установка для сжигания мусора входит в состав комплекса, включающего и электростанцию. В первом случае установку для сжигания мусора используют для получения низкотемпературного пара, который затем подается на электростанцию. Во втором случае конструируют печь с двумя камерами сгорания для мусора и дополнительного топлива. Топочные газы из камеры сгорания, где находится мусор, можно направить над более холодными стенками труб и в секцию экономайзера, минуя горячие трубы перегревателя. Такую конструкцию имеет установка, расположенная в южной части Мюнхена [10].

6.1.5. ЗАТРАТЫ НА СЖИГАНИЕ ОТХОДОВ

Расходы при сжигании отходов сильно изменились за период с 1965 по 1975 г. по ряду причин.

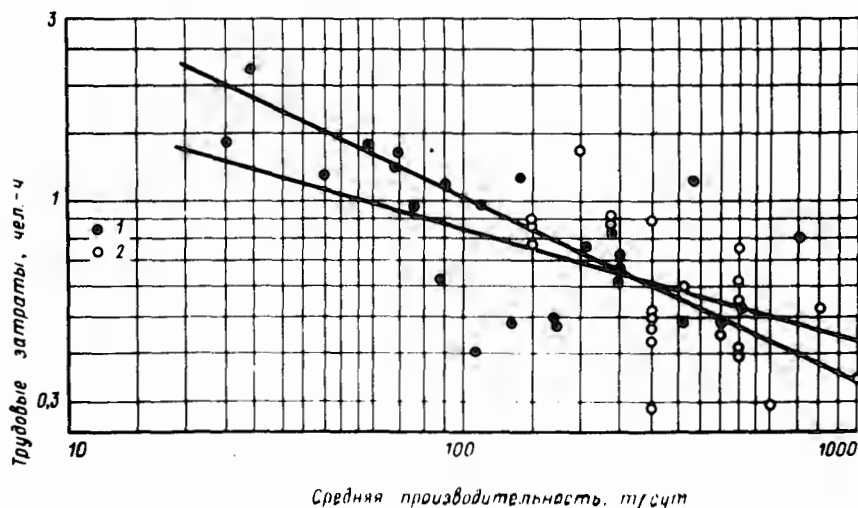


Рис. 6.10. Трудовые затраты на сжигание отходов для 23 установок (чел.-ч/т)

- 1 — фактические затраты в зависимости от средней производительности (1,41 чел.-ч/т);
 2 — проектируемые затраты в зависимости от проектируемой производительности (1,36 чел.-ч/т)

1. Требования контроля загрязнения воздуха стали гораздо более строгими, чем раньше, что привело к большим дополнительным расходам.

2. Резко возросли за этот период налоги, что повысило капитальные затраты на сооружение установки для сжигания мусора.

3. Возросла инфляция.

4. Резко увеличилась стоимость энергии.

В связи со сказанным данные, приведенные в табл. 6.18—6.21 и на рис. 6.10, следует интерпретировать с осторожностью с учетом времени, когда они были получены.

Таблица 6.18. Стоимость основных элементов коммунальной установки для сжигания мусора

Элементы установки	Условная стоимость обработки 1 т отходов, долл. (по курсу 1975 г.)
Весы, корпус весов, входы и выходы, маневровый парк, опрокидывающийся ковш и ограждение	100
Бункер для хранения отходов	200
Краны	225
Внешние газоходы и устройства для удаления летучей золы	400
Дымовые трубы	300
Разнообразные сооружения, такие как дренажные каналы, укладка в штабеля и деревянные желоба	75
Печи	1200
Внутренние газоходы	85
Здание и ограда	1415
Итого	4000

Таблица 6.19. Стоимость отдельных частей установки для сжигания отходов (данные 1957 г.)

Элементы установки	Примерная доля, % от общей стоимости установки
Весы, сортировочная станция, бункер для хранения отходов и внешние вспомогательные агрегаты	11
Здание и краны	37
Печи, камеры сгорания, газоходы и вспомогательные агрегаты	35
Относительно простые устройства для удаления летучей золы	7
Дымовая труба	10

**Таблица 6.20. Сравнительные расходы на установках
для сжигания мусора двух типов [Нью-Йорк]**

Элементы затрат	Стоимость, долл. (по курсу 1957 г.)	
	механизи- рованной уста- новки не- прерывного действия (средняя для 3)	установки периодиче- ского дей- ствия с руч- ной загруз- кой (сред- ная для 4)
Общая стоимость конструкции на единицу произво- дительности (т/сут) (включая технику, но исключая стоимость земли)	5500	3750
Общие текущие расходы на 1 т уничтоженных от- ходов	5,55	7,5
Текущие расходы на ликвидацию остатка	2,4	4,2
Расходы на эксплуатацию и ремонт	1,05	1,05
Расходы на управление	0,5	0,65
Пенсионный фонд (отчисление)	0,6	0,9
Топливо и разные виды энергии	0,05	0,05
Амортизация	0,95	0,95

* Позже в другом месте были сконструированы две установки, стоимость которых составляет 3600 долл/(т·сут).

**Таблица 6.21. Усредненные экономические показатели работы
установок для сжигания**

Элементы затрат	Производительность			
	100 т/сут		1000 т/сут	
	центы за 1 т	% от общих расходов	центы за 1 т	% от общих расходов
Рабочая сила	271,2	47,9	144,2	48,1
Энергия	29,8	5,3	12,9	4,3
Вода	14,1	2,5	14,1	4,7
Эксплуатация, ремонт и запчасти	38,8	6,8	38,8	12,9
Разное	12,9	2,3	12,9	4,3

Элементы затрат	Производительность			
	100 т/сут		1000 т/сут	
	центы за 1 т	% от общих расходов	центы за 1 т	% от общих расходов
Общие текущие расходы	366,8	64,7	222,9	74,3
Амортизационные отчисления при фактическом μ^*	199,9	35,3	77,1	25,7
Затраты при фактическом μ	566,7	100	300	100

* К. П. Д. установки — отношение фактической производительности к расчетной.

6.2. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЛИКВИДАЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

6.2.1. УСТАНОВКИ ДЛЯ ПИРОЛИЗА

Пиролиз твердых отходов — это термическое разложение твердых отходов в инертной атмосфере. При таких условиях из отходов выделяется смесь газообразных продуктов, дегтя, нерастворимых в воде масел и водного раствора уксусной кислоты, метанола и других органических соединений, а в остатке накапливаются инертные компоненты отходов и древесный уголь. Количество различных продуктов, получаемых в процессе пиролиза, зависит от скорости нагревания и от конечной температуры, до которой подвергают обработке отходы. В общем чем выше скорость нагревания и конечная температура, тем большая доля отходов превращается в газообразные и жидкие продукты. Состав выделяемых продуктов пиролиза мусора, заключенного в реторту и нагреваемого извне до различных температур, подтверждает указанное выше обобщение [33, 34]. Выход газообразных продуктов сильно меняется, однако по массе он составляет около 25% высушенных воздухом беззольных отходов; их теплотворная способность примерно 11 180—13 040 кДж/м³.

Твердый продукт, или древесный уголь, образующийся в результате пиролиза мусора, представляет собой неочищенный углерод (исключая золу), очень близкий по данным приближенного анализа к составу угля. Выход древесного угля равен примерно 17—25% по массе и уменьшается с ростом скорости нагревания, температуры пиролиза. Теплотворная способность древесного угля составляет около 25 630—27 960 кДж 1 гк беззольного древесного угля. Содержание золы в древесном угле варьируется, по-видимому, между 50 и 60% по массе. Водная жидкая фаза содержит примерно 70—80% воды и имеет теплотворную способность от 2330 до 4660 кДж

на 1 кг горючего мусора. Установки для пиролиза отходов были разработаны фирмой «Пан америкен ресорсиз». Их установка, получившая название «конвертер Лантца», представляет собой откачанную, нагреваемую извне цилиндрическую реторту, медленно вращающуюся вокруг наклонной оси. Мусор поступает через систему воздушного шлюза и подвергается пиролизу при температурах от 480 до 815°C в зависимости от состава мусора. В течение некоторого периода времени, начиная с 1968 г., на заводе фирмы «Форд мотор компани» в Сан-Хосе (шт. Калифорния) работала установка производительностью 40—50 т/сут, однако в настоящее время она не функционирует.

В нагреваемых извне установках, таких, как описанная выше, принудительная теплопередача осуществляется и через стенки сосуда и массу мусора. Альтернативный процесс включает выделение тепла непосредственно внутри слоя мусора путем введения в него окислителя в количествах, достаточных для нагревания отходов до температур пиролиза, но недостаточных для полного сжигания продуктов пиролиза. Этот тип «окислительного» пиролиза был осуществлен в нескольких процессах.

Фирма «Юнион карбайд» разработала кислородный конвертер, в котором малые количества кислорода (порядка 0,2 кг на 1 кг мусора) используются с целью получения энергии, необходимой для проведения пиролиза, а также для создания высокотемпературной зоны, в которой плавится остаток. Мусор подают наверх шахтной печи, расплавленный остаток выбивают из горна и охлаждают водой, а продукты пиролиза удаляют через верх печи и затем обрабатывают для получения жидких и газообразных топлив. Этот процесс имеет следующие достоинства: объем обрабатываемого газа составляет лишь малую долю от объема, который приходится перерабатывать в стандартной установке для сжигания отходов; получают побочно топливо; процесс шлакования позволяет добиться 97%-ного уменьшения объема и получить негниющий остаток. Опытная установка производительностью 200 т/сут успешно работала в Чарлестоне (шт. Западная Вирджиния).

Фирма «Оксидентал петролеум» предложила другую разновидность процесса пиролиза (опытная установка). Процесс включает грубое измельчение и сушку твердых отходов вслед за их воздушной классификацией для отделения горючей части мусора от инертной. Горючую часть отходов затем подвергают дальнейшему очень тонкому измельчению и пиролизуют. Пиролиз проводят при очень высокой скорости нагревания, что позволяет максимально увеличить выход жидкого топлива. Древесный уголь применяют в качестве источника энергии, необходимой в реакторе. Преимущество этого процесса заключается в том, что он позволяет получать легкотранспортируемое топливо. Установка должна быть сооружена в Сан-Диего (шт. Калифорния).

Другая разновидность процесса пиролиза — это система «Монсанта-Лендгард». Опытная установка производительностью 3 т/ч в Сан-Луисе (округ Миссури) предназначена для исследовательских

целей, а первая крупная установка находится в стадии сооружения в Балтиморе (шт. Мэриленд). Система объединяет пиролизную обжиговую и форсажную камерную печи. Смешанный мусор измельчают и загружают в пульсирующий бункер, из которого его можно непрерывно подавать во вращающуюся обжиговую печь. Пиролиз проводят при недостатке кислорода во вращающейся обжиговой печи. Из обжиговой печи через гидравлический затвор выгружают золу, стекло, металл и древесный уголь, а пиролизные газы сжигают в присутствии дополнительно подаваемого воздуха в стационарной форсажной камерной печи. Если требуется получить тепловую энергию, то можно использовать испаритель. Продукты сжигания затем перерабатывают стандартным способом перед выбросом их в атмосферу [35].

При содействии Агентства охраны окружающей среды разрабатывается и другая система — CPU-400. Измельченный мусор подают через клапан в находящийся под давлением сжиженный слой. Продукты пиролиза сжигают под давлением, а продукты горения пропускают через газовую турбину. Твердые частицы, уносимые из сжиженного слоя, удаляют с использованием высокоэффективного инерционного сепаратора. Конечным продуктом является электроэнергия, вырабатываемая генератором, который приводится в движение газовой турбиной. Различные узлы для этой системы находились в стадии разработки в Пало-Альто (шт. Калифорния).

6.2.2. УСТАНОВКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ С ВЫПУСКОМ ШЛАКА

Огромное уменьшение объема отходов, достигаемое в установках с выпуском шлака, является основной причиной их разработки. Небольшую дополнительную выгоду можно получить за счет продажи шлака, используемого в качестве заполнителя при строительстве дорог. Высокие температуры, требуемые для осуществления процесса шлакования, были достигнуты путем использования кислорода (описанный выше процесс фирмы «Юнион карбайд»), предварительно нагретого воздуха (фирма "Торрэкс") и дополнительного топлива (фирма «Американ термоген»). В установке фирмы «Торрэкс» технологический воздух перед подачей в подшахтной печи предварительно нагревают, пропуская его через раскаленные трубы из карборунда. Газы, выделяющиеся из шахтной печи, содержат продукты газификации и сгорания, которые затем сжигают во вторичной камере сгорания. Образующиеся газы очищают перед выбросом в атмосферу. Демонстрационная установка работала в Эрие (шт. Пенсильвания). В установке фирмы «Американ термоген» мусор по конвейеру подают в верхнюю часть установки. Для достижения условий шлакования в топке был использован кокс. Установку испытывали [36] и эксплуатировали в Витмене (шт. Массачусетс).

В рамках экспериментальной программы на заводе Мерамек фирмы «Унион электрик компани» в Сан-Луисе был исследован процесс сжигания коммунального мусора во взвешенном слое. Мусор, поступающий на установку, по конвейеру подавали в молотковую дробилку, где его измельчали до размеров менее 3,8 см. Методом магнитной сепарации из раздробленного мусора удаляли металлы. Измельченный мусор пневматически подают из пульсирующего бункера в котел, где он сжигается с помощью 25,4-см наклонной форсунки. Номинальные мощности котлов составляют 125 МВт, и мусор обычно сжигают вместе с углем. В ходе испытаний установлено, что скорость горения мусора соответствует 10—15%-ной тепловой нагрузке печи. (Общая теплотворная способность мусора в США составляет примерно 12% от потребности США в энергии для производства электричества.) Такие загрузки мусора не оказывают существенного влияния ни на выделения из дымовой трубы, ни на коррозию стенок из труб в течение примерно 56 сут горения. Главными проблемами, с которыми столкнулись, были эрозия колен в пневматических линиях для транспортировки мусора и накопление несгоревших твердых веществ в зольнике бункера под печью. Полагают, что эти проблемы можно исключить путем сортировки мусора перед сжиганием для удаления всего металла, стекла, очень крупных кусков древесины, пластмассы, кожи и т. д. [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaiser E. R. «Chemical Analyses of Refuse Components», Reprint 65-WA/PID-9, ASME, New York, 1965.
2. American Public Works Association, Public Administration Service, «Municipal Refuse Disposal», 2nd Edition, p. 7 (1966).
3. Kaiser E. R. «Refuse Compositions and Flue Gas Analyses from Municipal Incinerators», Proceedings National Incinerator Conference, ASME, New York, p. 180 (1964).
4. De Marco J., et. al. «Incinerator Guidelines-1969», Public Health Service Publication No. 2012, Bureau of Solid Waste Management, 1969.
5. Fulmer M. E. and Testin R. F. «The Role of Plastics in Solid Waste», Battelle Memorial Institute (Undated report to the Society of Plastic Industries) primary source cited as American Public Works Association Special Report No. 29, p. 37 (1964).
6. Wilson D. G., Ed. «The Treatment and management of Municipal Solid Wastes», Technomic Press, Westport, Ct. (1972).
7. Kaiser E. R. and Carotti A. A. «Municipal Incineration of Refuse with 2% and 4% Additions of Four Plastics», Proceedings of 1972 National Incinerator Conference, ASME, New York, 1972.
8. Fenimore C. P. «Formation of Nitric Oxide from Nitrogen in Ethylene Flames», *Combustion and Flame*, 19, 289—296 (1972).
9. Kaiser E. R., Zeit C. D., and McCaffery J. B. «Municipal Incineration Refuse and Residues», Proceedings of 1968 National Incinerator Conference, American Society of Mechanical Engineers, New York, May, 1968.
10. Bryers R. W. and Kercké Z. «Corrosion and Fouling in Refuse-Fired Steam Generators», Preprint 46-B, 70th National A.I.Ch.E. Meeting, Atlantic City (1971).
11. Personal communication, D. G. Wilson, July, 1968.
12. *Brennst-Warme-Kraft*, 17, No. 8 (1965).

13. Klumb D. L. «Union Electric Facilities for Burning Municipal Refuse at the Meramec Power Plant», Presentation at Union Electric Company Solid Waste Seminar, St. Louis, Missouri, October 26, 1972.
14. Nissen W. R., et al. «Systems Study of Air Pollution from Municipal Incineration», Final report under CPA-22-69-23 to the National Air Pollution Control Administration, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Mass., March, 1970.
15. Rose A. H., et al. «Air-Pollution Effects of Incinerator Firing Practices and Combustion-Air Distribution», *Journal of the A.P.C.A.*, 8, 297—301 (1959).
16. Sternburg R. L., et al. «Effects of Design and Fuel Moisture on Incinerator Effluents», *Journal of the A.P.C.A.*, 10, 114—20 (1960).
17. Sternburg R. L., et al. «Field Evaluation of Combustion-Air Effects on Atmospheric Emissions from Municipal Incinerators», *Journal of the A.P.C.A.*, 12, 83—9 (1962).
18. Engdahl R. B., and Major W. S. *Bituminous Coal Research, Inc.*, Tech. Paper No. VII, 1957.
19. «Steam, Its Generation and Use», Babcock and Wilcox Company, New York, N. Y. (1966).
20. Burckle J. O., Dorsey J. A., and Riley B. T. «The Effects of the Operating Variables and Refuse Types on the Emissions from a Pilot-Scale Trench Incinerator», Proceedings 1968 National Incinerator Conference, New York, May, 1968.
21. Schwartz C. H., Orning A. A., Sneden R. B., Demeter J. J., and Bienstock D. «Development of a Vortex Incinerator with Continuous Feed», Proceedings of a National Incinerator Conference, ASME, New York (1972).
22. Fife J. A. and Boyer R. H. «What Price Incinerator Air Pollution Control», Proceedings of the 1966 National Incinerator Conference, A.S.M.E., New York, May, 1966.
23. Nowak F. «Considerations in the Construction of Large Refuse Incinerators», Proceedings of the 1970 National Incinerator Conference, ASME, New York, 1970.
24. Nowak F. «Corrosion Problems in Incinerators», *Combustion*, 40, 32—40 (1968).
25. Roberts R. M., et al. «Systems Evaluation of Refuse as a Low Sulfur Fuel», Report under Contract CPA 22-69-22 to the Environmental Protection Agency, by Envirogenics Co., Foster Wheeler Corporation, and Cottrell Environmental Systems, November, 1971.
26. Criss G. H. and Olsen R. «The Chemistry of Incinerator Slags and Their Compatability with Fire Clay and Alumina Refractories», Proceedings of the 1966 National Incinerator Conference, ASME, New York, 1966.
27. Herbert D. B. «The Nature of Incinerator Slags», Proceedings of the 1966 National Incinerator Conference, ASME, New York, 1966.
28. Rampacek C. «Reclaiming and Recycling Metals and Minerals Found in Municipal Incinerator Residues», Proceedings of Symposium on Mineral Waste Utilization, pp. 124—131, March, 1968.
29. «Standards of Performance for New Stationary Sources», *Federal Register*, 36 (247), pp. 24876—24895 (December 23, 1971).
30. Walker A. B. and Schmitz F. W. «Characteristics of Furnace Emissions from Large, Mechanically Stoked Municipal Incinerators», Proceedings of 1963 National Incinerator Conference, ASME, New York (1964).
31. Stairmond C. J. «Removal of Grit, Dust and Fume from Exhaust Gases from Chemical Engineering Processes», *The Chemical Engineer (Great Britain)*, 194 (12), 310—26 (1965).
32. Environmental Protection Agency. «Background Information for Proposed New-Source Performance Standards», Office of Air Programs Technical Report No. APTD-0711, Research Triangle Park, North Carolina, August, 1971.
33. Hoffman D. A. and Fitz R. A. «Pyrolysis of Solid Municipal Waste», *Environmental Science and Technology*, 2 (11), 1023—6 (1968).
34. Kaiser E. R. and Friedman S. B. «Pyrolysis of Municipal Refuse», *Combustion*, 39 (11), 31—6 (1968).
35. Kaiser E. R. «Monsanto Landgard System», Presentation at Symposium of Environmental Impact of Nitrite Barrier Containers, Hartford, Connecticut, July, 1973.
36. Kaiser E. R. «Evaluation of the Melt-Zit High Temperature Incinerator», Report to the City of Brockton, Mass., on USPHS Grant No. DOI-UI-00076, 1969.

7.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Введение. Компостирование — биохимический процесс, предназначенный для преобразования органических твердых отходов в стабильный, подобный гумусу продукт, который, в основном, используется для улучшения состава почвы. Современное компостирование является аэробным и состоит из мезофильной и термофильной* стадий. Как биохимический процесс он лимитируется микробными популяциями и факторами внешней среды. Затраты на компостирование сравнимы с затратами на сжигание.

Определение. Упрощенно компостированием называют биохимический распад органических составных частей твердых отходов в контролируемых условиях. Термин «распад» используют вместо термина «стабилизация», так как в практических условиях процесс редко доходит до точки, при которой состав твердых отходов полностью стабилизируется. Термин «биохимический» отличает компостирование от других типов распада, например химического или физического (сжигание, пиролиз и т. д.). Из определения следует, что за некоторыми исключениями биохимическому распаду подвергаются только органические составляющие твердых отходов. Очень важное значение имеет термин «контролируемые условия». Именно применение контроля отличает компостирование от естественного гниения или разложения.

Классификация. Технологию образования компоста можно классифицировать по трем основным параметрам: использованию кислорода, температуры и способа ведения процесса. Если в основе технологии лежит применение кислорода, то ее подразделяют на аэробную и анаэробную. Когда главным признаком служит температура, различают технологию мезофильную и термофильную. Наконец, в зависимости от способа ведения процесса компостирование может осуществляться в длинных, невысоких штабелях или в механических устройствах.

Аэробное компостирование подразумевает активность аэробных микробов и, следовательно, обеспечение кислородом во время процесса компостирования. При анаэробном компостировании анаэробные бактерии служат для разложения, и кислород (воздух) исключается из компостирующей массы. Аэробное компостирование в отличие от анаэробного протекает более быстро, возможно в условиях высоких температур и осуществляется без запахов. Благодаря этим преимуществам большинство современных процессов компостирования являются, в основном, аэробными.

* Мезофильные бактерии работают в пределах температур от 15 до 20°C, термофильные бактерии — от 45 до 60°C.

Как предопределяет сам термин, мезофильное компостирование использует температуру, которая, в основном, является температурой окружающей среды (15—25°C). Термофильное компостирование осуществляется при температуре от 45 до 65°C. На практике в большинстве процессов используют обе температуры.

Компостирование в штабелях выполняется на открытом воздухе. В механических системах большая часть процесса осуществляется в закрытых аппаратах. Более подробно эти два метода рассмотрены ниже.

Общие ограничения из-за биологической природы процесса. Так как компостирование является операцией биохимической, то на нее распространяются факторы и требования, специфические для биологической деятельности: 1) должна быть подходящая микробная популяция; 2) степень и эффективность процесса являются функцией степени и эффективности микробной деятельности; 3) производительность данной операции ограничивается размером и природой популяции микробов; 4) субстрат, подвергающийся компостированию, должен быть органическим; 5) имеют важное значение факторы окружающей среды.

Происхождение первого ограничения заложено в самом определении процесса компостирования: для его осуществления необходимы организмы, причем определенная микробная популяция.

Второе ограничение имеет практически важное значение, так как вне зависимости от аппаратного оформления процесс компостирования будет протекать со скоростью, соизмеримой со скоростью активности бактерий в определенных условиях окружающей среды.

Микробное ограничение производительности означает, что если достигнута микробная популяция максимального размера в условиях, обеспечиваемых данным оборудованием компостирования, нагрузка больше не может увеличиваться в ущерб качеству процесса. Нагрузка сверх максимально допустимой подавит процесс частично или полностью и по меньшей мере приведет только к частичной переработке твердых отходов.

Ограничения, возникающие в результате действия факторов окружающей среды, сводятся к тому, что процесс подавляется пропорционально степени недостаточности фактора. Например, если температура оптимальная, аэрация осуществляется полностью и имеется подходящая микробная популяция, но недостаточно азота. Единственным способом повышения эффективности процесса является увеличение содержания азота. Добавление бактерий еще больше затруднит проблему, так как азота недостаточно даже для существующей популяции. Более совершенное оборудование не даст удовлетворительного результата вследствие того, что эффективным компонентам процесса, а именно бактериям, не хватает азота для удовлетворения своих метаболических потребностей.

Использование изолятов. Можно с уверенностью утверждать, что бесполезно стремиться к изоляции и идентификации всех организмов, которые могут быть найдены в массе материала для компоста. Причин для этого много. Одним из важных затруднений является выбор среды для идентификации изолированных организмов. Выбор неподходящей среды может привести к тому, что та или иная группа микробов разовьется в культивируемых условиях больше, чем другие группы. Однако данные соотношения могут не соответствовать фактическому их соотношению в массе материала для компоста. Природа среды — не единственный фактор, вызывающий ошибку. Отсутствие конкуренции в условиях изоляции в сочетании с благоприятной средой может облегчить успешный рост организма. Однако такая деятельность в массе компоста лишь незначительно влияет на процесс.

Если есть уверенность, что в данной массе компоста правильно определен организм и безошибочно установлена роль каждого изолята, нельзя утверждать, что такой же самый комплект общих микробов имеется в другом штабеле. Это означает, что существуют различные субстраты и, следовательно, разные составы популяций. Могут отличаться физические условия, например, содержание влаги, окружающая температура и т. д. Другая возможность заключается в том, что не исключаются колебания местной популяции.

Изоляция и идентификация организмов полезны, потому что если известны наиболее важные микроорганизмы в штабеле, можно определить оптимальные условия их роста путем исследования чистой культуры. Конечно, исследования чистой культуры в искусственных условиях дают возможность определить оптимальный режим выращивания данного организма, которые могут быть или не быть такими же, как те, которые преобладают во время процесса компостирования, где взаимодействие с другими организмами (конкуренция) является очень важным фактором. Более того, оптимальные условия для ключевых организмов в их «природном» окружении, т. е. в компостном штабеле, могут быть более легко и более точно определены в их взаимодействии со всей местной микробной популяцией. Оптимальные условия — это такие, при которых распад происходит наиболее быстро и желательным образом. Это может быть выполнено и без определения отдельных организмов.

Инокулят. Предыдущее обсуждение подводит к вопросу об использовании инокулятов. Иногда предложение о промышленном компостировании включает применение некоторых специальных посевных материалов, состав которых известен только их владельцу. Некоторые такие посевные культуры, описанные как смесь нескольких чистых штаммов, полученных в лабораторных условиях, имеют особое значение в разложении органических веществ и в азотофиксации. Другие культуры фактически содержат также «ферментные

системы», «гормоны», «фиксированные живые организмы», «активированные факторы», «биокатализаторы» и т. д.

Внесение микробной популяции, как предполагалось, оказалось неоценимым для почвы. Определенные бактерии стимулируют ее плодородие. Простое добавление таких организмов не приносит пользы, если окружающие условия в почве являются неподходящими, так как в ней имеется собственная популяция в достаточном количестве [1].

Количество бактерий редко ограничивает процесс компостирования, потому что бактерии всегда обильно присутствуют на всех открытых предметах, особенно на городских твердых отходах. Они могут быть исключены только эффективными действиями, например стерилизацией при высоких температуре и давлении. Когда факторы окружающей среды благоприятны, собственные бактерии быстро размножаются, так как они лучше приспособлены, чем формы, ослабленные в лабораторных условиях. В этом случае условия окружающей среды управляют процессом компостирования.

Ферментные препараты в связи с трудностями их синтеза и соответственно высокой стоимостью нецелесообразно использовать в процессе компостирования. Добавление ферментов к необработанным отходам необязательно еще и потому, что бактерии эффективно и быстро синтезируют все необходимые ферменты. Можно утверждать, что органические составные отходов содержат все факторы роста, в частности витамины.

Дополнительная инокуляция имеет значение для процесса образования компоста, когда данная популяция бактерий не может достаточно быстро развиваться в существующих условиях окружающей среды. Процесс образования компоста является динамичным и представляет собой сочетание деятельности двух популяций — бактерий и грибов при определенном влиянии окружающей среды. Изменения субстрата являются результатом прогрессирующего разложения бактериями сложных пищевых отходов простыми соединениями. Пропорционально биологической активности температура субстрата возрастает, что приводит к смене исходной мезофильной популяции микробов. Так как процесс является динамичным и любая отдельная группа организмов может выжить в достаточно широких пределах условий окружающей среды, одна популяция начинает появляться в то время, когда расцветает другая, а третья исчезает. И если какая-либо группа бактерий способна размножаться со скоростью, равной скорости изменения условий окружающей среды, то введение подобных организмов в качестве инокулята излишне.

Исследования Калифорнийского университета [2, 3] показали, что ни на собственно процесс компостирования, ни на его конечный продукт испытываемые инокуляты влияния не оказывали, даже если они были богаты бактериями. Испытывались такие инокуляты, как конский навоз, «жирная» почва, материал компоста. Результаты, полученные в университете, были дублированы в некоторых других лабораториях [4—8].

Типы микроорганизмов. Несмотря на ограничения, описанные в двух предыдущих разделах, были затрачены значительные усилия на идентификацию организмов, обнаруженных в компостируемых материалах. В различных исследованиях были найдены определенные группы микроорганизмов, очевидно связанные с различными стадиями процесса.

Исследованиями Калифорнийского университета [3] были обнаружены как факультативные¹, так и облигатные² аэробные представители бактерий в виде грибов³ и актиномицетов.⁴ (Хотя, строго говоря, актиномицеты являются высшей формой бактерий, они обсуждаются в настоящей работе в отдельности от других бактерий благодаря их особой роли в процессе компостирования). Бактерии доминируют в начале процесса, грибы появляются на 7-е—10-е сутки, актиномицеты становятся заметными только на завершающем этапе. Бактерии обнаруживались во всех частях штабеля (в исследованиях использовался способ компостного ряда), а актиномицеты и грибы были отмечены в наружной зоне толщиной 5—7,5 см, начиная непосредственно с поверхности штабеля. В большинстве случаев популяции грибов и актиномицетов было вполне достаточно, чтобы придавать отчетливо серо-белый вид этой зоне. Ограничение этих двух групп до внешней зоны, вероятно, было функцией или температуры, или аэрации, или обоих этих факторов. Температурный предел этой зоны составлял 48—58°C. Этот предел соответствует области появления *Actinomyces thermophilus*. Гилберт [9] определил пределы существования этого грибка между 45 и 60°C, а Миих [10] — между 40 и 60°C. Среди отмеченных актиномицетов были опознаны *Streptomyces* и *Micromonospora* (последняя распространена больше). Форсит [11] отмечает подобное доминирование *Micromonospora* в своих работах с компостом из травы. Грибы, наблюдаемые в исследованиях, включали виды рода *Thermomyces*, *Penicillium dupontii* и *Aspergillus fumigatis*. В более поздних исследованиях, выполненных Кэмбриджским университетом, было изолировано 17 видов грибов из компоста [12], в частности *Chaetomium thermophile*, *Humicola lanuginosa*, *Talaromyces dupontii* и *Mucor pusillus*. Перан и Джерис [13] упоминают о *Vibrio natri* и *V. prima*, *Oocystospora* sp., *Monosporium* sp., *Mycogone nigra*, *Botryosporium* sp. и *Stactybotrys* sp.

7.3. СУБСТРАТ (ПИТАТЕЛЬНОЕ ВЕЩЕСТВО)

Природа субстрата. Состав субстрата в производстве компоста, очевидно, складывается из компонентов обрабатываемых твердых отходов. Твердые отходы, как следует из определения, за небольшим

¹ Факультативные — это аэробные организмы, способные к росту в аэробных и анаэробных условиях.

² Облигатные — это аэробные организмы, которые могут расти только в присутствии кислорода (аэробные условия).

³ Грибы — нитеобразные или одноклеточные низшие растения.

⁴ Актиномицеты — лучистые грибки — высшая форма бактерий.

исключением, должны быть органическими. Сюда можно отнести, например, бумагу, древесину, навоз, отходы приготовления пищи, обработки зерна и т. д. Все это сложные вещества, и поэтому для их переработки требуется определенная микробная популяция. И только когда материалы разлагаются на простые и простейшие формы, расширяется спектр потенциальных микробов-потребителей. Содержащийся в субстрате протеин разрушается по следующей схеме: протеин → пептиды → аминокислоты → аммиачные соединения → протоплазма бактерий и атмосферный азот или аммиак. Конечно, эта схема распада представлена в очень схематичном виде. Так, в действительности каждый этап сопровождается синтезом протоплазмы бактерий (когда организм разлагает субстрат, некоторое количество азота преобразуется в протоплазму). Упрощенная схема распада углеродсодержащих соединений субстрата такова: углеводы → простые сахара → органические кислоты → CO_2 и бактериальная протоплазма.

Важной особенностью субстрата при компостировании является необходимость содержания в нем веществ, требующихся для жизнедеятельности данной микробной популяции. Таким образом, углерод в необработанных отходах будет отсутствовать до тех пор, пока не появится микробная популяция, способная разрушать углеродсодержащие вещества. Следовательно, если первые члены микробной сукцессии¹ опущены, процесс компостирования будет приостановлен. Однако это происходит очень редко, так как отходы несут в себе большое количество разнообразных микроорганизмов. Важным моментом является то, что чем проще форма, в которой находятся отходы, тем больше это разнообразие и, следовательно, тем быстрее образуется компост.

Баланс питательных веществ. Для того чтобы поддерживать воспроизведение и тем самым разложение микроорганизмов, они должны иметь минимальный набор всех элементов, из которых состоит их клеточное вещество. Кроме того, им требуется минимальное количество определенных элементов, которые необходимы для метаболической деятельности в качестве источника энергии. Как известно, количество потребляемых элементов колеблется, но их отношение остается постоянным, т. е. другими словами, баланс нарушается. Равновесие возникает вследствие того, что рост микроорганизмов ограничивается таким веществом (или веществами), которое (или которые) присутствует в меньшей, чем это необходимо, концентрации. Равновесие особенно важно в отношении макроэлементов питания. Наиболее важными из них являются соединения углерода и азота, потребляемые в больших количествах.

Для образования компоста огромное значение имеет углерод-азотный баланс (отношение C/N). Так как часть углерода теряется в виде CO_2 , но присутствует в клеточном материале в большей концентрации, чем азот, количество необходимого углерода значительно превосходит количество азота.

¹ Смена микробных популяций в зависимости от степени разрушения субстрата.

Оптимальный предел отношения C/N в большинстве твердых отходов падает от 20 или 25 до 1. Чем больше углеродазотный баланс отклоняется от оптимального, особенно в верхнем пределе, тем медленнее протекает процесс. Однако действительный верхний предел в каждом отдельном случае зависит от имеющегося в наличии углерода. Если углерод присутствует в форме, которая высоксопротивна к бактериальному воздействию, то он мало используется микробами. Следовательно, если твердые отходы содержат большое количество углерода в устойчивой форме, то допустимое углеродазотное отношение может быть выше, чем 25/1. Примером могут служить твердые отходы с большой концентрацией бумаги, волокна, древесины или соломы.

Концентрация азота в образцах твердых отходов, которые должны быть превращены в компост, может быть определена по способу Кьельдаля.

Современные городские отходы вообще имеют слишком низкое содержание азота, так как очень мало пищевых отходов достигает ящика для их сбора. Упаковка продуктов ограничила содержание твердых пищевых отходов, образуемых дома, и большое количество их сбрасывается в канализационную систему. Недостаток азота может быть преодолен добавлением азотсодержащих отходов, например навоза.

Основным вредным эффектом слишком низкого отношения C/N является потеря азота в результате образования аммиака и его последующего улетучивания. Между тем сохранение азота очень важно для образования компоста. Потеря аммиака становится наиболее ощутимой при высоких скоростях процесса компостирования, когда возрастает степень аэрации, создаются термофильные условия и pH достигает 8 или более. Такое значение pH благоприятствует образованию аммиака, а высокая температура ускоряет его улетучивание. Существуют способы уменьшения летучести, но их применение практически неприемлемо. Единственный путь — это сохранять на требуемом уровне углеродазотное отношение.

7.4. КОНТРОЛЬ СКОРОСТИ ПРОЦЕССА

Главными факторами контроля окружающей среды в процессе образования компоста являются влажность, температура, pH, концентрация питательной среды и ее доступность и содержание кислорода.

Содержание влаги. Теоретическое оптимальное содержание влаги¹ в процессе компостирования должно составлять 100%. Однако практическое содержание влаги является функцией аэрации и структурной природы материала, подвергаемого компостированию. С биохимической точки зрения, идеальным было бы иметь жидкое тесто из твердых отходов, через которое энергично проду-

¹ Содержание влаги — количество воды, потерянной на единицу влажной массы, когда материал сушится при температуре 120°C на протяжении 8 ч или более.

зается воздух, в результате чего масса становится полностью аэробной. Однако по техническим и экономическим причинам способ эрации жидкой массы практически неприемлем для большинства случаев образования компоста из твердых отходов.

Наиболее распространена «сухая» обработка компоста. При таком типе обработки структурную прочность компостируемого материала определяет верхний предел содержания влаги. В аппарате для приготовления компоста подача кислорода осуществляется воздухом, вводимым между частицами в процессе их перемешивания. В любом случае, если промежутки между рядами компоста заполнены водой, очевидно, что воздух удаляется и кислород к организмам не поступает. В результате масса твердых отходов становится анаэробной, процесс компостирования замедляется и образуются вещества с неприятными запахами. Размер промежутков зависит от размера частиц материала. Их стабильность определяется структурной прочностью материала, подвергающегося компостированию, т. е. способностью сопротивляться уплотнению.

Так как 100%-ное содержание влаги является только желательным, фактическое максимально допустимое содержание влаги становится оптимальным для данного материала. Максимально допустимое содержание влаги (табл. 7.1) для «волоконистых» (солома, сено, сухие листья и т. д.) или древесных (опилки, стружка, кора и т. д.) материалов находится в пределах от 75 до 85% [13]. С другой стороны, твердые отходы, состоящие из бумаги или растительной зелени (трава от стрижки газонов, обрезки овощей, влажные кухонные отбросы и т. д.), имеют максимальное содержание влаги 50—60%. Если максимально допустимое содержание влаги для данных твердых отходов является слишком низким, его можно повысить, добавляя адсорбирующие твердые отходы. Таким образом, если смешать солому с обрезками овощей, максимально допустимое содержание влаги возрастет пропорционально количеству введенной соломы. Адсорбент необходимо также добавлять, если

Таблица 7.1. Максимально допустимое содержание влаги

Тип твердых отходов	Содержание влаги, %
Солома	75—85
Древесина (опилки, мелкая стружка)	75—90
Бумага	55—65
«Влажные» твердые отходы (обрезки овощей, отходы от стрижки газонов, кухонные отходы и т. д.)	50—55
Городские отходы	55—65
Навоз	55—65

Примечание. Теоретически допустимое содержание влаги составляет 100%.

содержание влаги в твердых отходах в их «необработанном» состоянии чрезвычайно высокое (например, для отходов консервных заводов).

Температура. Температура уже давно признана одним из основных факторов, влияющих на биологическую активность. Вообще у каждой группы организмов имеется оптимальная температура, и любое отклонение от нее отмечается снижением роста и активности организмов.

Наилучшими условиями для образования компоста являются мезофильный и термофильный температурные пределы.

Защитники мезофильного процесса образования компоста (в верхнем пределе — свыше 35°C) заявляют, что мезофильные бактерии как более эффективные ускоряют процесс образования компоста. Однако, заявляют защитники термофильного процесса, патогенные вещества и сорняковые семена погибают при высокой температуре. Поэтому, вероятно, термофильный процесс используют лишь на какой-то стадии всего процесса образования компоста [3, 15, 16]. Некоторые очевидные признаки [21, 40] указывают на то, что процесс может протекать более эффективно в нижнем термофильном пределе, а именно от 50 до 55°C . Но все соглашались, что рабочая температура должна составлять, по меньшей мере, 35°C .

Температура достаточно большой или изолированной массы будет постепенно возрастать до термофильного предела из-за избыточной энергии. Это неизбежно, если не принимать специальных мер к отводу тепла. С учетом саморазогрева массы наиболее активные этапы процесса образования компоста должны проходить при термофильных температурах. Процесс замедляется, когда температура становится выше 60°C .

Благодаря многим группам организмов, принимающим участие в процессе образования компоста, диапазон оптимальных температур для этого процесса в целом является очень широким — примерно от 35°C до 55°C . У каждой группы микробов имеется своя собственная оптимальная температура, которая может совпадать или не совпадать с оптимальной температурой другой группы. Следовательно, оптимальная температура для всего процесса — нечто среднее между оптимальными температурами для различных форм микробов, вовлеченных в процесс. Существование пологой части характеристики от мезофильного до термофильного предела является результатом не только вовлечения многих типов организмов, но также и приспособляемости организмов к температурному пределу.

Одно время считалось, что существует разрыв между концом мезофильного интервала и началом термофильного. Причиной такой уверенности было предполагаемое резкое деление организмов на мезофильные и термофильные. Что касается организмов, способных жить в разных условиях, то предполагалось, что интервалы находятся или в строго мезофильной или в строго термофильной области. Однако исследования температурных требований

аэробных образователей спор, а также воздействия температуры на анаэробное перегнивание [17, 18] показали, что разграничительная зона определяется температурой. Основным источником погрешности являлась невозможность использовать «приспособленные» или «акклиматизированные» культуры.

Как уже говорилось, в практической работе желательный диапазон температуры включает термофильную область. Объясняется это следующим: 1) некоторые организмы, вовлеченные в процесс, имеют оптимальную температуру в термофильном пределе; 2) семена сорняков и большинство патогенных микробов не могут выжить при термофильных температурах; 3) если не приняты специальные меры, компостируемая масса подходящего объема достигнет высокой температуры.

Фактор pH. Можно утверждать, что грибы допускают более широкий диапазон pH, чем бактерии. Оптимальный диапазон pH для большинства бактерий находится в пределах между 6 и 7,5, а для грибов он может быть между 5,5 и 8. Действительно, верхний предел pH для многих грибов был найден как функция осаждения питательных веществ из растущей среды.

В практической работе мало что можно сделать, чтобы изменить уровень pH, доминирующий в штабеле компоста. Объясняется это экономическими трудностями и необходимостью сохранения азота. Изменение pH требует добавления реагентов, что, в свою очередь, повышает стоимость процесса. Сохранение азота можно осуществить повышением pH массы, подвергающейся компостированию. Однако добавление извести всегда сопровождается образованием аммиака и, следовательно, потерей азота [3, 19].

Потребность в кислороде [аэрация]. Так как современный процесс образования компоста почти всегда аэробный, то для его ведения необходим кислород. Известный интерес представляют исследования [12, 20—24]. Шульц [20, 21] оценивает необходимую подачу воздуха в размере $1301 \text{ мм}^3/(\text{г} \cdot \text{ч})$. Кромецка [23] приводит значение от $9 \text{ мм}^3/(\text{г} \cdot \text{ч})$ для спелого компоста до $284 \text{ мм}^3/(\text{г} \cdot \text{ч})$ для «свежего» компоста (4-недельного). «Свежим» отходам (7-дневным) необходимо $176 \text{ мм}^3/(\text{г} \cdot \text{ч})$. Потребность для свежего компоста с содержанием влаги в 45% была оценена в $263 \text{ мм}^3/(\text{г} \cdot \text{ч})$, а с влажностью в 60% — $306 \text{ мм}^3/(\text{г} \cdot \text{ч})$. Лоссин [24] сообщает, что средняя потребность в кислороде меняется в пределах от почти 900 мг/г при выдержке в течение 1 сут до 325 мг/г при 24 сут. Реган и Джерис [12] определили, что самое низкое потребление в 1 мг кислорода на 1 г твердых веществ в 1 ч наблюдалось при температуре массы 30°C и влажности 45%, самое высокое — $13,6 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$ — при температуре 45°C и влажности 56% ($\pm 2\%$).

Трудность определения настоящей или действительной кислородной потребности объясняется влиянием, вызванным температурой, содержанием влаги, степенью бактериальной популяции и доступностью питательных веществ, для потребления кислорода. В дополнение к предыдущим факторам следует принять во внимание тип оборудования для аэрации и физическую природу отходов.

Определение абсолютной кислородной потребности компостируемой массы представляет интерес для исследователя, однако полученные данные перед практическим применением следует откорректировать.

Контроль содержания кислорода в выходящем воздухе полезен для регулировки режима компостирования. Когда содержание кислорода в выходящем воздухе падает ниже оптимальной концентрации, то подача воздуха может быть соответственно увеличена. Контроль может выполняться с помощью любого надежного оборудования для анализа кислорода. Контроль содержания кислорода в штабелях еще более затруднен. В таких обстоятельствах обоняние становится «прибором», т. е. запахи разложения указывают на начало анаэробноз — недостаточную подачу кислорода.

Природа микроорганизмов. Не являясь фактором окружающей среды, природа микроорганизмов составляет последний фактор биологических ограничений. Независимо от того, насколько близки к оптимуму все условия окружающей среды, степень разложения зависит от способности микроорганизмов разлагать материал, а последняя определяется их строением.

Практическим аспектом этих ограничений является то, что никакое усложнение оборудования не ускорит разложение резистивных материалов сверх лимита, дозволенного природой взятых организмов. Это ограничение ставит под сомнение создание кратковременных (1—3-суточных) процессов образования компоста или использование инокулятов, которые ускорят разложение. Другим практическим аспектом является то, что поддержание условий окружающей среды сверх оптимального уровня является напрасной тратой усилий, так как определенный природой потенциал организмов не может быть превзойден.

7.5. ПРОЦЕСС ОБРАЗОВАНИЯ КОМПОСТА

Процесс компостирования охватывает несколько последовательных этапов: сортировку, дробление, образование компоста, хранение. Некоторые системы предусматривают повторное измельчение компоста с предварительной его сортировкой на ситах.

Сортировка. Так как размалывание необработанных материалов является одним из существенных этапов в аэробном процессе образования компоста, представляется неизбежной предварительная сортировка городских отходов. Ответственность за разделение отходов может быть возложена на домовладельцев, которые должны помещать специфические органические материалы, например бытовые отходы, бумагу, кожу и тряпье, в контейнер для компостируемых материалов. Однако при этом трудно предотвратить случайное попадание посторонних предметов, которые могут повредить размалывающие механизмы.

К материалам, которые следует удалять перед размалыванием, относят консервные банки, различные металлы, стекло и керамиче-

ские изделия. Целесообразно удалять и лишнюю бумагу, что позволяет в некоторых случаях уменьшать отношение C/N . Следует удалять также ветошь из натурального и синтетического волокна. Последнее оказывает особенно неблагоприятное влияние на изготовление компоста.

Консервные банки и другие предметы из черного металла обычно удаляются магнитным сепаратором при продвижении отходов по конвейеру. Ветошь и неметаллические предметы изымают вручную. Излишняя бумага удаляется вентилятором, всасывающий шланг которого расположен непосредственно над конвейером. Особые трудности возникают с удалением бутылок и других стеклянных и керамических предметов. Ручная отборка невыгодна, однако измельченное стекло, перемешанное с пищевыми отходами, усложняет работу оборудования. Следовательно, необходимо разработать системы, предусматривающие удаление металлов, а также стекла.

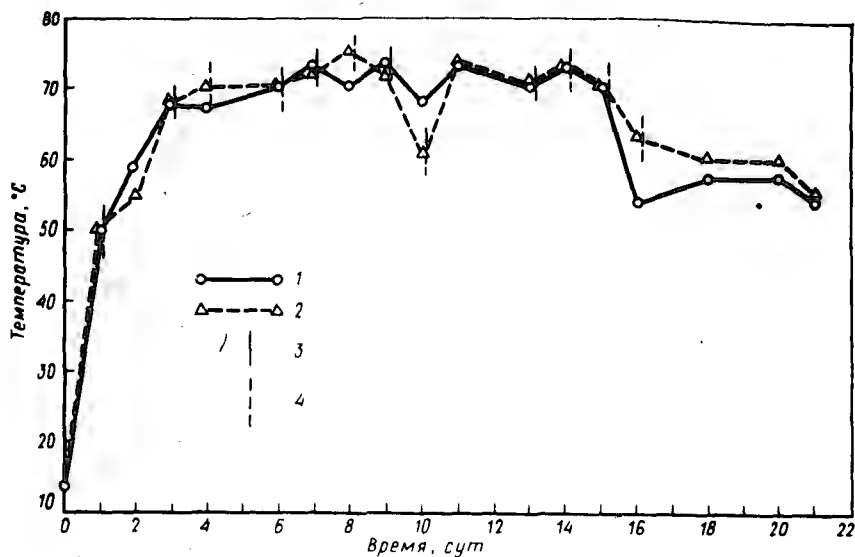
Размалывание. Размалывание, или измельчение, твердых отходов ускоряет процесс образования компоста. Материал становится более однородным, улучшается его структура, увеличивается чувствительность к воздействию влаги, аэрации, прониканию микробов. Размолотое стекло увеличивает абразивные свойства отходов, что может привести к преждевременному износу оборудования.

Целью размалывания является превращение твердых отходов в маленькие кусочки. Нет специальных требований к размеру, но материал не должен быть превращен в пульпу. Идеальным считается минимальный размер частиц, при котором не происходит нежелательного уплотнения пульпы. Чем больше размер частиц, тем меньше скорость разложения. Для городских отходов предпочтительный размер частиц от 2,5 до 5 см.

Образование компоста. После того как материал сложен в компостные штабеля или помещен в аппарат, начинает проявляться активность бактерий, что легко распознается по повышению температуры массы. Температура повышается со скоростью, определяемой факторами окружающей среды и природой материала. Исследованиями Калифорнийского университета [3] показано, что температура компостной массы повышалась от окружающей до 50°C за 1—2 сут после укладки в штабель. После 4 сут температура достигла 60—70°C. Выше 75°C температура не поднималась. Температурная кривая, показанная на рисунке, типична для процесса компостирования городских отходов с «высокой скоростью». В ненарушенном штабеле температура понижается от центра массы к наружному слою толщиной 5—10 см.

Подъем температуры замечен, даже если ведется механизированная обработка компоста, что обусловлено конструкцией аппаратов.

Высокая степень активности бактерий приводит к тому, что уменьшение температуры, сопровождающее перемешивание компоста, через очень небольшое время сменяется увеличением температуры. Так как тепло из компостируемого материала отводится



Температурная кривая, типичная для компостирования с «высокой» скоростью

1 — компостный штабель В перемешивается каждый третий день; 2 — компостный штабель А перемешивается каждый день; 3 — перемешиваются оба компостных штабеля; 4 — перемешивается только компостный штабель В

медленно, температура массы начинает возрастать. Высокая температура поддерживается до тех пор, пока не завершится процесс компостирования. После этого активность бактерий начинает падать и соответственно снижается температура.

Во время процесса компостирования физическая структура материала подвергается изменению. Городские отходы после укладки в штабель имеют серовато-зеленый цвет. Постепенно штабель приобретает коричневый или коричнево-серый оттенок. Изменения завершаются через 4—5 сут после размельчения. Гофрированный картон, чистая (без текста) бумага и другие органические вещества теряют свои признаки, а газетная бумага еще легко различается. Как известно владельцам приусадебных участков, навоз в компосте очень похож на обезвоженный свежий навоз. Подстилающий материал сохраняет свою идентичность, но становится очень хрупким и ломким. Отходы из мусорных ящиков теряют свой характерный внешний вид и приобретают темный цвет, ассоциируемый с компостом.

Заслуживает внимания изменение запаха компостируемого материала. У городских отходов отмечается едкий запах. Если следовать способу образования компоста, предложенному Калифорнийским университетом, материал теряет свой едкий запах через 6—7 сут после измельчения и закладывания в компостные штабеля. Подоб-

ная же картина отмечается, когда компост образуется из навоза или пищевых отходов, при этом он теряет свой характерный запах и приобретает «запах земли».

Имеют место и другие характерные изменения: увеличение потребления кислорода, смещение окислительно-восстановительного потенциала, повышение уровня pH, образование аммиака и падение отношения C/N. Вопросы поглощения кислорода уже обсуждались в предыдущем разделе. Изменение окислительно-восстановительного потенциала сопровождается изменением условий ведения процесса — из анаэробных в аэробные. Уровень pH падает на протяжении первых нескольких дней образования компоста из-за синтеза органических кислот бактериями. Если материал, образующий компост, имеет анаэробные зоны, то могут возникнуть масляная, уксусная и пропионовая кислоты. Однако кислоты вскоре используются бактериями в качестве субстрата и с образованием аммиака начинает подниматься уровень pH. Самые низкие значения pH (по данным университетских исследований) были порядка 5—6, а самые высокие — 8,5—9,5. Падение отношения C/N при образовании компоста вызывается высвобождением CO_2 в окружающий воздух. CO_2 образуется бактериями, когда происходит окисление углеродного материала в компостных кучах. Азот отмечается в очень малых количествах или вообще не обнаруживается.

Конечным результатом этапа образования компоста является стабилизация органических веществ в твердых отходах. Степень стабилизации относительна, хотя материал кажется инертным. Окончательная стабилизация органического вещества приводит к получению CO_2 , H_2O и минеральной золы. Использование компоста, как будет объяснено далее, зависит от его дальнейшего распада в почве.

Желательная степень стабильности — это такая, при которой не возникает неприятностей при хранении даже во влажном состоянии. Проблема заключается в том, чтобы определить этот момент.

Исследования Калифорнийского университета показали, что темный цвет, типичный для компоста, может появиться задолго до достижения нужной степени стабилизации. То же можно сказать о «запахе почвы», который характерен для актиномицетов. Возникновение запаха связано с активностью этих организмов.

Параметрами стабильности кроме внешнего вида и запаха являются: окончательное падение температуры [3], степень самонагревания [25], количество разложимого и резистивного материала (органического вещества) [26], повышение окислительно-восстановительного потенциала [27], поглощение кислорода [23], рост нитевидных грибов [28] и крахмальная проба [29].

Как уже упоминалось в прежних исследованиях, достижение удовлетворительной степени стабилизации всегда сопровождается окончательным и неминуемым снижением температуры. Наблюдалось, что при снижении температуры до 45—50°C материал становился удовлетворительно стабильным и мог, следовательно, длительно храниться. Это подтверждает, что при компостировании в

штабеле окончательное падение температуры является мерой стабильности.

Способность к самонагреванию является вариантом параметра «конечная температура». Образцы материала помещаются в сосуды Дьюара, которые покрыты несколькими слоями хлопчатобумажной ваты. Температура изменяется соответствующим чувствительным устройством. Сосуды помещаются в термостат, в котором температура регулируется таким образом, чтобы исключить потери тепла в сосудах. Предельная температура, достигнутая в сосудах, указывает степень стабильности материала. Например, полученные Нисе [25] результаты указывают температуру свыше 70°C для необработанных твердых отходов, 40—60°C для «среднего» разложения и ниже 30°C для «полной» стабилизации.

Принцип, лежащий в основе способа определения неразложимых и резистивных органических веществ [26], сводится к установлению количества окисляющего реактива, используемого в испытании путем обработки пробы раствором бихромата калия в присутствии серной кислоты.

Определение стабильности по величине окислительно-восстановительного потенциала [27] основано на том факте, что неразложившееся органическое вещество интенсифицирует конверсию микробов, что, в свою очередь, влечет за собой увеличение потребления кислорода и сопровождающее падение потенциала. Мёллер [37] утверждает, что материал может рассматриваться как стабилизированный, когда окислительно-восстановительный потенциал в центре компостного штабеля находится ниже 50 мВ.

Способ, описанный Обристом [28], основан на измерении роста и количества плодовых тел гриба *Chaetomium gracilis*, выращенных на твердой питательной среде размельченных отходов или компоста. После инкубационного периода в 12 дней подсчитываются плодовые тела. Их количество является функцией количества разлагаемых материалов, имеющих в испытываемом материале.

Способ определения стабильности с использованием крахмала основан на том, что чем больше степень разложения, тем меньше количество разлагаемого органического вещества. Лоссин [29] утверждает, что в материале для компостирования найдены три типа углеводов: сахар, крахмал и клетчатка. При компостировании в штабелях сахар исчезает через неделю после начала процесса. Крахмал же разлагается на четвертой или пятой неделе образования компоста.

Характерным для всех предыдущих испытаний, вероятно, за исключением двух, зависящих от уровня температуры, является то, что они относительны: определение опирается на изменения величин, а не на стандартное постоянное число. Следовательно, их нельзя использовать в качестве стандартных. Способ измерения окислительно-восстановительного потенциала еще недостаточно точен. Анализ способности к самонагреванию требует нескольких дней. Определение, основанное на росте гриба *Chaetomium*, сопряжено

с большой затратой времени и в значительной степени зависит от опыта исследователя.

Как уже указывалось, необходимая продолжительность процесса образования компоста зависит от условий окружающей среды. Исследования показали, что это время колеблется от 10—11 сут (образование компоста из огородных отходов) до 21 сут (отходы с высоким отношением C/N—78 : 1). Некоторые поставщики оборудования для образования компоста называют такое непродолжительное время, как 3—6 сут. Однако к таким заявлениям надо относиться скептически, так как материал перед «созреванием» не готов ни к использованию, ни к хранению.

В практической работе скорость процесса не всегда является критическим фактором с точки зрения экономики, так как рынок в настоящее время перегружен и материал должен храниться. Он приобретает важность, если для процесса используется дорогое оборудование. При этих условиях чем меньше время пребывания в аппарате, тем больше компоста может быть выработано в день, тем ниже стоимость 1 т продукта.

После того как материал признан достаточно стабильным для хранения, его сортируют по фракциям путем просеивания. Самый крупный материал предназначен для «грубого» применения (большие сельскохозяйственные поля, исправление «неудобных» земель и т. д.), а самый мелкий хранят для приусадебных участков. Часто материал, который остается после разделения грубых фракций, размалывается и просеивается. Размалывание компоста намного проще, чем размалывание необработанных отходов, вследствие того, что компостированный материал теряет физическую прочность.

Как уже говорилось, хорошо обработанный компост может храниться длительное время.

7.6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ

История вопроса. Научный подход к процессу образования компоста был положен работой Говарда [30] в сотрудничестве с Джексоном и Вемом [31, 32, 33] в начале 30-х годов нашего столетия. Разработанный им процесс известен как процесс Индоры. Он предусматривает создание компостных штабелей на открытом воздухе высотой приблизительно в 1,5 м или в ямах из органического материала, легко поддающегося разложению, например кухонных отходов, фекалий, навоза от животных или канализационного отстоя, и относительно стабильного, например листьев и соломы. Масса обычно дважды перемешивается во время процесса образования компоста.

В то время как Говард совершенствовал практику, которая применялась в Индии и Китае, другие исследователи, особенно в Европе, направляли значительные усилия на механизацию процесса образования компоста. Различные механические устройства разраба-

тывались и патентовались на протяжении десятилетия (с 1920 по 1930 г.).

Процесс механизации, разработанный Беккари (Флоренция) [34, 35, 36], сочетал стадию первоначальной анаэробной ферментации с конечной аэробной стадией. Анаэробная стадия проходила в замкнутой ячейке, что предотвращало улетучивание веществ с неприятным запахом, обычно связанного с первоначальным распадом органических веществ, поддающихся разложению в анаэробных условиях. С течением времени открывались вентиляционные отверстия для допуска воздуха, и тем самым разложение продолжалось в частично аэробных условиях. При таких условиях аэробное разложение наблюдается в поверхностном слое толщиной 2,5—5 см. В остальной части массы при отсутствии перемешивания протекает анаэробный процесс. Первоначально ячейка Беккари имела загрузочный люк сверху и разгрузочное отверстие спереди. Для воздушной вентиляции в конструкции были установлены клапаны или другие устройства. Позднее процесс был модернизирован, чтобы обеспечить рециркуляцию газов или дренажирующих жидкостей. Модифицированный процесс получил известность под названием «процесс Вердьера».

В 1931 г. Бордас усовершенствовал процесс Беккари. Он попытался исключить анаэробный этап путем принудительного введения воздуха. Силосная яма Бордаса была поделена решеткой на верхнюю и нижнюю части. Воздух подавался через центральную трубу и вдоль стенок. Компост через решетку поступал в нижнюю камеру после уменьшения в объеме в результате разложения.

Аэрация была дальнейшим шагом в развитии многосеточного аппарата для компостирования в аэробных условиях. Процесс был запатентован в 1939 г. Эрп-Томасом. В силосной яме Эрп-Томаса эффект аэрации достигался вращением лопастей и принудительной подачей воздуха. Существенной особенностью этого процесса было применение специальных культур бактерий.

Следующим вариантом аппарата замкнутого типа был аппарат, разработанный Райкером (фирма «Лансинг», Мичиган). Он представлял собой силосную яму с двумя стенками и многоэтажными перегородками (горизонтальными). Внутренняя часть силосной ямы аэрировалась внутри и снаружи, и разлагаемая масса непрерывно обрызгивалась дренажной жидкостью, накачиваемой из отстойника, расположенного в основании силосной ямы.

Другой подход к конструкции предложил Эвесон в 1949 г. [38]. Процесс Эвесона (или Фрейзера) был полностью механизированным и непрерывным. Компост образовывался быстро и в аэробных условиях. Органическое вещество дробилось и вводилось в установку, где оно непрерывно перемешивалось при передвижении от одного уровня к другому и соприкасалось с газами разложения (отличительная особенность патента). Согласно патенту, «активизированная» двуокись углерода рециркулировала через массу, подвещающуюся компостированию.

Процесс Дано явился новым этапом в конструировании оборудования для образования компоста. Первоначально это был, по существу, процесс разделения и размалывания. Позднейшие разработки включили использование медленно вращающегося горизонтального барабана, оборудованного для вдувания воздуха, подачи влаги и контроля температуры.

Штабелирование. Существует множество типов штабелей от совершенно примитивных, например разработанных Говардом, до относительно усовершенствованных разработанных в Калифорнийском университете в 50-е годы XX столетия. Системы открытого компостирования характеризуются тем, что процесс образования компоста происходит на открытом воздухе путем измельченных отходов в удлиненные штабеля. Аэрация осуществляется периодическим перемешиванием штабелей таким образом, что все части оказываются в одинаковых условиях в активный период процесса.

В условиях США компостный штабель может быть расположен на открытом воздухе на сухой поверхности, хотя над частью материала, который находится в активной стадии образования компоста, рекомендуется навес. В северных районах целесообразно более полно укрывать и защищать активную часть компостного штабеля стенками и навесом. Штабель может быть любой длины, но его высота имеет определенное значение. Если штабель уложен слишком высоко, то материал будет сжат собственной массой, в смеси не будет пор и начнется анаэробный процесс. В некоторых случаях максимальная практическая высота может регулироваться оборудованием, которое используется для укладывания размолотых отходов, или мерами, предотвращающими перегрев штабеля свыше 70°C . Низкий компостный штабель слишком быстро теряет тепло и в нем нельзя поддерживать температуру, оптимальную для термофильных организмов. Кроме того, из-за большой потери влаги, особенно по краям штабеля, замедляется степень образования компоста.

Опытом установлены наиболее приемлемые высоты компостных штабелей для любых видов отходов. Для свежих размолотых городских отходов максимальная высота не должна превышать 1,5—2 м. Так как во время разложения теряется объем материала, любая желательная высота компостного штабеля может поддерживаться путем ограничения его ширины. Для удобства перемешивания ширина компостного ряда, вероятно, не должна превышать 2,4—3 м у основания. В сухую погоду поперечное сечение обычно делается трапециевидальным, ширина верхней части регулируется шириной основания, и углом наклона материала, который составляет около 30° от вертикали. При дождливой погоде поперечное сечение компостного ряда должно быть приблизительно полукруглым, подобно копне сена, чтобы сбрасывать воду. В этом случае максимально допустимая высота компостного штабеля будет определять максимальную ширину.

Перемешивание. Аэрация в штабелях совершается путем перемешивания, поэтому для получения свободных от неблагоприятных воздействий характеристик разложения термофильного аэробного процесса штабель необходимо перемешивать достаточно часто. **Равномерное разложение**, которое существенно важно для быстрого образования компоста, обеспечивается перемешиванием наружных краев к центру компостного штабеля. При этом любые личинки насекомых, патогенные микробы или яйца насекомых, которые могут существовать в более холодных условиях, подвергаются воздействию губельной для них температуры внутри компостного штабеля.

Необходимость в частичном перемешивании вызывается высоким содержанием влаги и предотвращением анаэробного процесса. Избыточная влага может быть составной частью обычных отходов, которые подвергаются компостированию, или появиться в результате непрерывного проникания дождевой воды во время перемешивания, если компостный штабель находится на открытом воздухе. Анаэробные условия возникают также вследствие остановки оборудования, из-за необычно плохой погоды или других помех, препятствующих нормальному перемешиванию.

Частота перемешивания в процессе образования компоста в большой степени зависит от содержания влаги. Опыт показывает, что для городских отходов наиболее целесообразен следующий график перемешивания. Если первоначальное содержание влаги менее 70%, то первое перемешивание должно быть выполнено на третьи сутки, а затем перемешивание в течение 12 сут выполняется в следующем порядке:

содержание влаги от 60 до 70%: перемешивание выполняется через каждые двое суток, частота перемешиваний около 5;

содержание влаги от 40 до 60%: перемешивание выполняется с 3-суточным перерывом; приблизительная частота перемешиваний 4;

содержание влаги менее 40%: добавить влагу. Если влажность превышает 70%, штабель следует перемешивать каждый день до тех пор, пока она не уменьшится, а затем необходимо следовать указанному выше порядку.

Выполняя схему перемешивания, нет необходимости в определении содержания влаги после первоначального анализа. Опыт поможет оператору оценить потребность во влаге и соответствие схеме перемешивания. Надо взять за правило составлять схему суточного перемешивания при возникновении любого неприятного запаха, который замечается при нарушении целостности компостного штабеля или при разрывании его с целью проверки. Ежедневное перемешивание должно повторяться до исчезновения запаха. Степень анаэробности штабеля не имеет значения, он восстановит свои свойства при ежедневном перемешивании, которое ограничивает влажность и способствует аэрации.

Так как перемешивание городских отходов обычно должно выполняться с перерывами двое-трое суток, любые анаэробные усло-

вия быстро исчезают. Перемешивание можно не выполнять в выходные дни, что освобождает от излишних затрат.

Иногда перемешивание применяется как средство рассеяния тепла компостного штабеля, когда температура превышает 75°C. Однако температура после перемешивания уменьшается только на 5—10°C и восстанавливается до прежнего уровня через 2—3 ч. В любом случае чем ниже компостный штабель, тем меньше затраты труда на перемешивание.

Описанная схема рекомендуется для «высокоскоростных» процессов образования компоста. Если время не является важным фактором, промежутки между перемешиваниями могут быть увеличены.

Аэрация у основания. Для улучшения аэрации взамен перемешивания предлагались и другие способы. Среди них были укладка размолотых отходов в проволочные контейнеры [39, 40], укладка материала стопами на полы со щелями или перфорациями и принудительная подача воздуха в компостный штабель аэрацией снизу. Помещение материала в проволочные мусорные бабки улучшало аэрацию только наружных слоев массы. Практически то же самое получалось при складывании материала стопами. Полы со щелями или перфорацией позволили несколько увеличить поступление воздуха, но это не компенсировало затраты на их устройство.

Хотя идея принудительной аэрации привлекательна во многих отношениях, имеются многие трудности, которые снижают возможность ее использования в компостных рядах городских отходов. Вероятно, основной трудностью является равномерное распыление воздуха через отходы. На практике в компостных штабелях образуются каналы, через которые принудительно подаваемый воздух утекает. Кроме того, благодаря испарению, вызываемому проходящим воздухом, материал в непосредственной близости к каналам становится чрезвычайно сухим. И даже когда принудительная вентиляция эффективна, компостные штабеля время от времени следуют перемешивать.

Контроль влажности. Контроль влажности в процессе образования компоста предусматривает как удаление избыточной влаги, так и ее добавление, когда компостный штабель становится слишком сухим.

Как уже утверждалось, для контроля избыточной влаги можно использовать большое количество добавок. Если в отходах имеется избыток бумаги, то контроль влаги может быть осуществлен путем регулирования ее количества. Однако при этом есть опасность чрезмерного увеличения отношения C/N. Влажность можно регулировать с помощью соломы, однако из-за увеличенных затрат на покупку и обработку, а также отсутствия в некоторые времена года применять ее нецелесообразно. Сухая почва или пыль являются другой добавкой, эффективно снижающей содержание влаги. И в этом случае проблема наличия материала и стоимости обработки ограничивает ее использование. Когда применяется какая-либо добавка, следует обращать внимание, чтобы она вводилась в таком

количестве, которое не повлияло бы на чрезмерное увеличение отношения C/N . При избыточном количестве влаги рекомендуется частое перемешивание, которое ограничивает содержание влаги без нарушения отношения C/N .

Дальнейшие соображения касаются высокого первоначального содержания влаги. В зонах с частым выпадением осадков материал, который проходит процесс переработки в компост на открытом воздухе, может стать чрезвычайно влажным. Следовательно, должны быть предприняты меры предосторожности. Если по экономическим соображениям укрытие компостного штабеля крышей невозможно, то его верхняя часть может быть округлена так, чтобы наружная поверхность отражала воду как соломенная крыша. Уилли [41] сообщает, что сложенный таким способом материал выдержит прерывистые сильные дожди, но для непрерывного дождя это не помеха. Ван Вурен [7] сообщает о материале для компостирования, подвергавшегося воздействию повторяющихся дождей без достаточных сухих периодов времени. В других исследованиях компостируемый материал подвергался воздействию одного сильного дождя. Дождь проник только на глубину 3—6 мм. Попытки добавить влагу путем опрыскивания из шланга дали аналогичные результаты. Вода свободно стекала с компостного штабеля, не проникая в нее. Если же компостный штабель пропитался водой, то требуется перемешивание. Конечно, нельзя выполнять перемешивание во время дождя, так как все части открытого штабеля будут увлажняться.

Наружные части неукрытого компостного штабеля имеют тенденцию к высыханию во время солнечной погоды, в таком случае следует применять поверхностное опрыскивание.

Конструкционные соображения. Опытный специалист может легко разработать проект завода для приемки, разделения и размалывания отходов и для укладки, перемешивания, повторного размалывания и складирования штабеля компоста. Первые три из этих операций предпочтительно выполнять под укрытием.

При определении необходимой площади штабеля следует исходить из 2-суточной производительности. Размещение компостных штабелей может быть определено операциями перемешивания и необходимым пространством для маневрирования оборудованием. Эти соображения, а также предполагаемый период образования компоста определяют необходимую площадь территории для любой отдельной операции по образованию компоста. Еще 100% (по меньшей мере) дополнительной земли необходимо для размещения отработанного компоста и нарушения графика работ из-за поломки оборудования или ухудшения погоды (период дождей). Земельная площадь должна составлять не менее 3,237—4,047 га для населения в 100 000 человек, хотя и рекомендуется некоторый избыток.

Затраты. Имеющиеся в литературе данные об экономике компостирования в компостных штабелях очень разноречивы, вероятно, потому, что основное внимание в США уделяется механической переработке в компост. Интересный анализ для компоста,

образующегося из пищевых отходов сельского хозяйства, выполнен Хартом и др. [42, 43]. Так как система Харта предусматривает образование компоста в минимальном количестве, то основные затраты связаны с размалыванием и стоимостью занимаемой земли. Он оценивает затраты (на 1 т) примерно в 3 долл. (включая все затраты, связанные с размалыванием), стоимость земли составляет около 4,6 долл. при общей стоимости земли в 10 000 долл/га, ссудный процент составляет 6%, на 1 га размещается 400 т компоста (цены 1970 г.).

В обзоре 1961 г. европейской практики образования компоста Уилли [44] утверждает, что капитальные затраты составили 5330 долл/т и эксплуатационные — 4,54 долл/т.

Самая последняя оценка затрат (1971 г.) на штабель дана в отчете, представленном Агентством охраны окружающей среды США [45]. Оценка основывается на действительных затратах, выявленных на заводе в Джонсон Сити. Капитальные затраты (в ценах 1969 г.) колеблются от 16 560 долл/т при суточной производительности 50 т до 5460 долл/т при производительности 200 т/сут и работе в две смены. Оценка общих годовых капитальных вложений для завода основывается на стоимости обработки 1 т отходов и составляет 6,12 долл/т для завода производительностью 5 т/сут и 2,1 долл/т для завода производительностью 200 т/сут. Оцениваемые эксплуатационные затраты колеблются от 13,65 долл/т для завода производительностью 50 т/сут и 8,7 долл/т для завода производительностью 200 т/сут при работе в две смены.

Механизированные системы. В конструкциях большинства механических систем аэрация обеспечивается перемешиванием. Аппараты оборудованы передвижными лопастями для перемешивания материала. Горизонтальный аппарат имеет лопасти для передвижения компостируемого материала к люку, через который он падает вниз и снова поднимается вверх. В многоэтажном аппарате переворачивание обеспечивается падением материала с одного этажа на другой. В удачной системе («Метроваст») аэрация снизу сочетается с переворачиванием с помощью проходящего бесконечного ремня от одного конца камеры компостирования (бункера) до другого. При передвижении ремень собирает компост спереди, поднимает его на высоту 0,9 м, с которой он падает вниз. Другой способ («Феерфилд-Харди») сочетает перемешивание с принудительной аэрацией с помощью колонковых шнеков, вращающихся в компостируемой массе. В шнеках имеются сопла, через которые в материал принудительно подается воздух. Механические аппараты оборудованы также устройствами для обеспечения соответствующей температуры и влажности.

Потребности в земле. Потребность в земле для работы механического аппарата составляет порядка от 1—1,2 га для завода производительностью 100 т/сут. Такое количество земли позволяет хранить в компостных штабелях материал на протяжении около 6 мес.

Затраты. Отчет о европейских установках [46] (1966 г.) показывает, что средняя стоимость составляет 4,55 долл. за обработку 1 т отходов. Из этой суммы 1,76 долл. приходится на долю капитальных затрат (по данным Хардлинга [47]). Цена для оборудования фирмы «Феерфилд» (за исключением стоимости земли и затрат на улучшение используемой земли) находится в пределах от 1,4 млн. долл. для завода производительностью 100 т/сут до 1,6 млн. долл. для завода производительностью 400 т/сут. Соответственно потребность в энергии составила 900 и 2500 л. с., потребность в рабочей силе — 8 и 20 чел. Капитальные затраты для фирмы «Метроваст» колебались от 90 000 долл. для завода производительностью 100 т/сут до 1,6 млн. долл. для завода производительностью 400 т/сут. Соответственно потребности в энергии составляют 1250 и 2000 л. с. На заводе занято 12 и 30 чел. соответственно.

Авторы отчета [45] о компостировании в Джонсон-Сити оценивают капитальные затраты (исключая землю) в 2005 долл./т. С учетом стоимости земли (10 000 долл./га) капитальные затраты возрастают на 18 долл. Авторы утверждают, что эксплуатационная стоимость механизированного завода во Флориде колеблется от 7,56 долл. за 1 т при производительности 157 т/сут до 6,94 долл./т при производительности 346 т/сут.

Специальное применение. Благодаря высокой способности к разложению в анаэробных условиях пищевые отходы легко компостируются. Основным препятствием является высокое содержание влаги. Для отходов из мусорных ящиков проблема усложняется, потому что содержание в них влаги намного превосходит содержание влаги в пищевых отходах.

Один из способов получения компоста предназначен для обработки коровьего навоза, не содержащего подстилочного материала. Система была разработана Сенном из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесской школе здравоохранения как часть проекта, предназначенного для разработки способов переработки коровьего навоза. По-существу, процесс вызывает воздушную сушку навоза, пока содержание влаги не упадет до 60% или менее. Сушка должна выполняться только один раз в начале данной операции. Высушенный материал перемешивается с необработанным материалом в такой пропорции, чтобы смесь не «слипалась», и помещается в бункер, оборудованный системой принудительной аэрации снизу. К тому времени, когда материал превращается в компост, содержание в нем влаги будет достаточно низким, чтобы использовать его в качестве абсорбента влаги для необработанного навоза. Вариантом является разбрасывание компоста в стойлах коров для подстилки животным и для поглощения влаги из необработанного навоза. Эта система применима для любых отходов животноводства.

История вопроса. Очевидное отсутствие опасности для здоровья характерно для всех хорошо организованных операций по компостированию в Европе. Так, в начале 50-х годов Совет медицинских исследований в Англии не обнаруживал никакого риска при образовании компоста. Ван Вурен [7] не мог обнаружить какую-либо опасность в правильно организованных операциях по образованию компоста в Южной Африке. Результаты Ван Вурена были подтверждены исследованиями Блера [48] и др. в Южной Африке. Исследовательский совет по сельскому хозяйству в Англии [49] отметил также, что количество насекомых резко сокращалось в результате операций по образованию компоста. Подобные наблюдения сделаны Ван Вуреном.

Исследователи Калифорнийского университета [3] наблюдали, что если отходы, поступающие в обработку, содержали насекомых в высокой концентрации, то за время прохождения материала через дробилку все личинки насекомых уничтожаются. Никакой активности насекомых не отмечалось в материале, подвергавшемся компостированию. Исследования о компостировании отходов ферм и садов [50] показали, что ни в навозе для компостирования, ни в огородных отходах насекомых не было. Хотя исследователи из университета не делали попыток изолировать болезнетворные организмы и паразитов из компостных штабелей, но они составили таблицу температур, при которых гибнут некоторые обычные болезнетворные организмы и паразиты, и доказали на основании сведений, взятых из таблицы, что организмы, вызывающие заболевания, не выживают при правильно организованной операции компостирования [50]. К сожалению, эта таблица предлагается многими авторами в последние годы как доказательство безопасности процесса образования компоста, без обращения к экспериментам. Ниже воспроизводятся эти данные.

Температуры, при которых гибнут некоторые обычные болезнетворные организмы и паразиты

<i>Salmonella typhosa</i> :	не растет при температуре выше 46°C, погибает через 30 мин при температуре от 55 до 60°C
<i>Salmonella</i> spp.:	погибает через 1 ч при 56°C или через 15—20 мин при температуре 60°C
<i>Shigella</i> spp.:	погибает через 1 ч при температуре 55°C
<i>Escherichia coli</i> :	большинство погибает через 1 ч при температуре 55°C, через 15—20 мин при температуре 60°C
<i>Endamoeba histolytica</i> :	гибнет при температуре 68°C

¹ См. также гл. 3.

<i>Taenta saginata</i> :	погибает через 5 мин при температуре 71°C
<i>Trichinella spiralis</i> larvae	способность заражения ограничивается в результате выдерживания в течение 1 ч при температуре 50°C, гибнет при температуре 62—72°C
<i>Necator americanus</i> :	погибает в пределах 50 мин при 45°C
<i>Brucella abortus</i> или <i>suis</i> :	погибает в течение 3 мин при 61°C
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>aureus</i> :	погибает через 10 мин при температуре 50°C
<i>Stveptococcus pyogenes</i> :	погибает через 10 мин при температуре 54°C
<i>Mycobacterium tubercu-</i> <i>losis</i> :	(вариант <i>hominis</i>): погибает через 15—20 мин при температуре 66°C или мгновенно при нагревании до 67°C
<i>Mycobacterium diptheriae</i> :	погибает через 45 мин при температуре 55°C

Исследования более научного характера выполнили в 1959 г. и в 60-е годы в Европе Штраух [8], Бансе [51], Фарказди [51] и Кнолл [52]. Их интересовали болезнетворные организмы, которые могут быть введены шламом в технологическую схему, предусматривающую образование компоста из шлама и отходов. Кнолл [52] исследовал выживание штаммов *Salmonella* (*typhimurium*, *cairo*, *infantis* и *typhi*). В условиях, которые доминировали в экспериментальной установке по образованию компоста, никакие организмы не выживали более 14 сут. Банс и др. использовали в своих исследованиях *Salmonella* и *Bacillus anthracis* в качестве опытных организмов. Они обнаружили, что *Salmonella* становилась безвредной через 3—5 сут, а *Bacillus anthracis* выживал за период в семь дней. Результаты исследований, выполненных в Джонсон-Сити, показали, что правильно организованный процесс компостирования дает продукт, который безопасен для сельскохозяйственного применения и использования в огородничестве [53, 54].

Основными факторами в разрушении патогенных организмов в процессе образования компоста являются тепло и антибиотики. Как уже указывалось, температура выше 60 и ниже 70°C обычно достигается в процессе образования компоста. Эти температуры превышают температуры, при которых гибнут указанные организмы. Высокая температура держится в течение времени, достаточного для гибели организмов.

Как продемонстрировал Кнолл [52], уничтожение патогенных организмов является не только результатом термической реакции. В его экспериментах испытываемые организмы существовали более продолжительный период времени, в том случае когда они подвергались воздействию только высокой температуры в компостируемом материале. Когда же к температурному фактору добавлялось взаи-

действие с другими организмами, они погибали намного раньше. Предполагают, что в связи с большим количеством организмов, особенно актиномицетов и грибов, происходит синтез антибиотиков. Конечно, конкуренция из-за питательных веществ также влияет на процесс разрушения. Однако эта конкуренция скорее подавляет деятельность организмов, чем вызывает их гибель.

На насекомых в различной стадии их развития термическое воздействие и недостаток питательных веществ оказывают неблагоприятное влияние. Химические и физические изменения, происходящие в материале, подвергаемого компостированию, вскоре делают его непригодным в качестве питательного вещества для насекомых. Следовательно, хотя взрослые насекомые могут существовать в штабеле, они редко остаются на срок достаточный, чтобы отложить там яйца.

Следует подчеркнуть, что процесс компостирования может быть эффективным лишь при строгом контроле всех его этапов. Необходимо, чтобы все частицы материала подвергались воздействию высокой температуры и полной обработке. Если же постоянный контроль затруднен, то образование компоста из фекалий и шламов канализации вместе с твердыми отходами очень нежелательно. Полученный компост необходимо подвергнуть стерилизации. Если он не стерилизован, то его применение должно быть ограничено такими областями, где человек прямо или косвенно с ним не соприкасается.

7.8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТА: ПРИРОДА И ЗНАЧЕНИЕ ИЗГОТОВЛЕННОГО КОМПОСТА

Значение компоста как вещества, изменяющего среду почвы. Изготовленный компост может быть обозначен общим термином «перегной». При внесении в почву он улучшает ее состав. Органические кислоты, получаемые при метаболическом разложении органического материала, образуют комплекс с неорганическим фосфором. В такой форме фосфор более доступен для высших растений. Благодаря перегною лучше накапливаются фосфор и азот. Подавляется осаждение фосфора, и азот, превращаясь в протоплазму бактерий, становится нерастворимым и доступным для растений после гибели и разложения бактерий. Постепенное разложение нерастворимых органических веществ микроорганизмами приводит к непрерывному освобождению азота в виде аммиака, который затем окисляется в нитриты и нитраты.

Физическое воздействие перегноя на почву, вероятно, более важно, чем эффект действия питательных веществ. Для плодородия почвы в одинаковой степени важны как ее структура, так и питательные вещества. Слипание почвы или тенденция к комкованию, чему способствует перегной, улучшает соотношение воздуха и воды в почве, увеличивая тем самым ее способность удерживать влагу и обеспечивая более экстенсивное развитие корневой системы расте-

ний. Слипание частиц почвы вызывается сложными эфирами целлюлозы (ацетат целлюлозы, метиловая целлюлоза и карбометиловая целлюлоза), появляющимися в результате метаболизма бактерий [55]. Другими преимуществами бактериального метаболизма, связанного с перегноем, являются увеличенная способность почвы нейтрализовать быстрые изменения кислотности и щелочности и действие некоторых токсичных веществ.

Химический состав. Хотя компосты состоят из сходных элементов, количественные колебания последних могут быть очень значительными, так как они определяются типами материалов, которые подвергаются компостированию. В одном случае материал может содержать большое количество азота (низкое C/N), а в другом — очень ограниченное. Диапазон микропримесей также колеблется. Смешанные городские отходы содержат большее количество разнообразных микропримесей металлов, чем сельскохозяйственные отходы или навоз. К сожалению, в большой массе металлов, содержащихся в городских отходах, могут находиться токсические вещества, влияющие на здоровье людей. Некоторое представление о химическом составе типичного компоста можно получить из сведений, приводимых в табл. 7.2.

В общем компост имеет достаточно невысокое содержание азот-фосфор-калия, чтобы его можно было признать удобрением в обычном смысле. Следовательно, если не увеличить концентрацию одного или всех трех элементов, то его нельзя продавать как удобрение. В этом случае он служит «кондиционером для почвы».

Отношение C/N компоста является важной характеристикой его использования в производстве зерна. Если отношение C/N слишком высокое, т. е. выше 20 : 1, то возникает опасность «грабежа» азота. Азотный «грабеж» задерживает рост высших растений и проявляется в хлорозе¹. Он возникает из-за конкуренции за азот между бактериями, разлагающими компост, и корнями зерновых. Бактерия, как более эффективно ассимилирующая азот, получает основную его часть и, таким образом, «грабит» высшие растения. Эффекта «ограбления» азота можно избежать путем добавления в почву некоторого количества азота. «Грабеж» азота объясняет некоторое падение урожайности зерна при первом применении компоста. Однако даже без добавления азота урожайность через год восстанавливается.

Эффект влияния компоста, особенно компостированных городских отходов, на рост растений был предметом широких исследований в США и в Европе [50—60]. Отмечается, что независимо от вида растений их рост всегда стимулировался в большей степени компостом, чем минеральными удобрениями. Это, конечно, при условии, что в почве сохраняется правильное отношение C/N. Одним из результатов, полученных Хорстенстином [59], является то, что нитрификация² в почве ограничивается почти до нуля, что предотвра-

¹ «Хлороз» возникает при повреждении хлорофилла или его недостаточности.

² Нитрификация — изменение и окисление органического азота в нитрит и нитрат с помощью некоторых типов бактерий.

Таблица 7.2. Химический состав различных компостов, %

Элемент	Отходы овощей + 16% (по массе) бумаги	Городские отходы	Городские отходы в Джонсон-Сити [46]		Компост из Гейнсвилла
			добавлен шлам	без шлама	
Углерод	38,3	23,51	33,07	32,89	—
Азот	1,57	0,97	0,94	0,91	0,57
Калий	0,4	0,21	0,28	0,33	0,22
Натрий	—	—	0,42	0,41	—
Кальций	—	—	1,41	1,91	1,88
Фосфор	0,4	0,16	0,28	0,22	0,26
Магний	—	—	1,56	1,92	0,12
Железо	—	—	1,07	1,1	—
Алюминий	—	—	1,19	1,15	—
Медь	—	—	<0,05	<0,03	—
Марганец	—	—	<0,03	<0,05	24 ч на 1 млн
Никель	—	—	<0,01	<0,01	—
Цинк	—	—	<0,005	<0,005	600 ч на 1 млн
Бор	—	—	<0,0005	<0,0005	33 ч на 1 млн

П р и м е ч а н и е. При производстве зерновых компост можно использовать в качестве рыхлого защитного слоя и как улучшающую почву добавку. В качестве защитного слоя он обладает характеристиками торфяного мха и коры. Однако компост, соединяясь с почвой, высвобождает адсорбированную воду намного легче, чем торфяной мох, и предъявляет меньше требований к азоту почвы, чем кора. Хотя торфяной мох характеризуется значительно более высокой способностью удерживать воду, чем компост, удерживаемая им вода мало полезна для выращиваемых растений.

щает загрязнение подземных вод. Он также отметил, что компост вызывает ограничение в почве нематод¹.

Проблема, которая может возникнуть при применении в производстве зерна большого количества компоста, — это накопление нежелательных элементов в почве. Например, Хаспер и Цубер [60] пишут о компосте из твердых отходов и шлама очистных сооруже-

¹ Нематоды — это удлиненные цилиндрической формы и несегментированные личинки. Одни из них являются паразитами растений и человека, а другие живут свободно.

ний в Швейцарии, в котором концентрация бора колебалась от 1 до 30 млн⁻¹. Они подчеркивают, что добавление 300 т компоста на 1 га может быть эквивалентно введению 26 кг кристаллического бора.

Применение компоста способствует решению проблемы восстановления земли в зонах, где из-за открытых горных выработок потерял верхний почвенный слой. Именно он может остановить эрозию и обеспечить землю субстратом, на котором удержится растительное покрытие. Подобным образом можно защищать скаты холмов, оголенные пожаром. Исследование, выполненное в районе Лос-Анджелеса, предусматривало разбрасывание на обгоревшие склоны очень тонкого слоя компостированных городских отходов, к которым добавлялось соответствующее количество семян травы. После дождя семена прорастают и вместе с компостом эффективно предотвращают стекание грязи или эрозию. Компостом можно также улучшать почву на обочинах шоссе и дорог и в других срезах земли. В перспективе — восстановление земель, покрытых породой из шахт, золой и различными шламами.

7.9. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ КОМПОСТА

Современное состояние процесса образования компоста при обработке твердых отходов в США и Европе нельзя признать удовлетворительным. В США, когда общий выпуск компоста был максимальным, перерабатывалась только очень небольшая часть твердых отходов (менее 1%). Конечно, это не удивительно, так как даже в 1970 г. менее 10% общего количества свалок можно было отнести к разряду санитарных земляных насыпок. В Европе, где проблеме образования компоста всегда уделялось особое внимание, часть отходов, подвергавшихся компостированию, составляла только 1 или 2% [61]. Компост, вырабатываемый в Европе, используется, в основном, в особых сельскохозяйственных культурах, например в виноградарствах.

Причиной недостаточного применения компоста являются неудовлетворительные экономические показатели с точки зрения современных стандартов, в том числе высокая стоимость и отсутствие потребления. Как уже отмечалось в предыдущем разделе, капитальные затраты колеблются примерно от 5000 до 20000* долл./т в зависимости от размера завода. Эксплуатационные затраты изменяются от 5 до 15 долл./т. Эти затраты приблизительно эквивалентны затратам на сжигание отходов. При сжигании объем отходов уменьшается примерно на 90%, а при образовании компоста — на 30—40% (только для органических или сгораемых фракций твердых отходов, т. е. около 50—60% поступающих твердых отходов). Более того, печь для сжигания требует при возведении небольшого земельного участка. Чтобы употребить полностью компост, если все города или даже часть городов займутся его изготовлением, следует расширить его применение в сельском хозяйстве. Сельское

* Цены 1973—1974 гг.

хозяйство не заинтересовано в использовании на своих полях материалов, если это не связано с улучшением состава почвы или внесением удобрений. Другая трудность заключается в сезонности сбыта. Продукт может быть применен на зерновых полях только перед посевом или в конце созревания растений, но не во время их роста. Следовательно, нужно обеспечить хранение продукции завода продолжительное время. В большинстве случаев стоимость транспортировки превышает стоимость самого продукта. В результате все упомянутые недостатки привели к краху практически всех предприятий в США по переработке отходов в компост.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Waksman S. A. *Soil and the Microbe*, New York, 1951.
2. Golucke C. G., B. J. Card, and P. H. McGauhey. «Evaluation of Inoculums in composting». *Applied Microbiology*, 2 (1): 45, 1954.
3. McGauhey P. H. and C. G. Golucke. *Reclamation of Municipal Refuse by Composting*. Tech. Bull. No. 9, Sanit. Eng. Research Lab., Univ. of Calif., Berkeley, June 1953.
4. Weststrate W. A. G. «The New Dutch Scheme for Refuse Disposal». *Public Cleansing and Salvage*, 41: 332, 1951.
5. Straub H. «Die Herstellung von Kompost aus Abwasserschläm und Hausmüll von Stadtbaurat». Berichte der Abwassertechnischen Vereinungen e. V. Die Stuttgarter Tagung. R. Oldenbourg, Munich, 1950.
6. Adams R. C., F. S. Maclean, J. K. Dixon, F. M. Bennett, G. L. Martin, and R. C. Lough. «Second Interim Report of the Interdepartmental Committee on Utilization of Organic Wastes». *New Zealand Engineering*, 6: 12, 1951.
7. Van Vuren J. P. J. *Soil Fertility and Sewage*. Faber and Faber, Ltd., London, 1949.
8. Strauch D. «Further Hygienic Investigations of the Influence of «Promoting or Stimulating Factors» on Decontamination of Refuse- and Sewage Sludge Components». International Research Group on Refuse Disposal. Information Bulletin No. 25. From *Translations of Bulletins 21—31* distributed by U. S. Public Health Service, Dept. H. E. W., 1969.
9. Gilbert A. «Über *Actinomyces thermophiles* und andere Actinomyceten». *Ztschr. Hyg.*, 47: 382, 1904.
10. Mische H. *Die Selbsterhitzung des Heues*. Jena G. Fischer, 1907.
11. Forsyth W. G. C. and D. M. Webley. «Microbiology: II. A Study of the Aerobic Thermophilic Bacteria Flora Developing in Grass Composts». Proceedings of the Society for Applied Microbiology, 1948.
12. Gray K. «Research on Composting in British Universities». *Compost Science — Journal of Waste Recycling*, 11 (5): 12, 1970.
13. Regan R. W., and J. S. Jeris. «A Review of the Decomposition of Cellulose and Refuse». *Compost Science*, 11: 17, January-February 1970.
14. «Second Interim Report of the Interdepartmental Committee on Utilization of Organic Wastes». *New Zealand Engineering*, 6 (11—12) November-December 1951.
15. Wyley J. S. «Progress Report on High-Rate Composting Studies». Engineering Bulletin, Proceedings of the 12th Industrial Wastes Conference, Series No. 94, May 1957.
16. Schulze K. L. «Aerobic Decomposition of Organic Waste Materials (Continuous Thermophilic Composting) Final Report». Michigan State Univ., Lansing, Mich., April 1961.
17. Allen M. B. «The Thermophilic Aerobic Sporeforming Bacteria». *Bact. Reviews*, 17: 125, 1953.
18. Golucke C. G. «Temperature Effects on Anaerobic Digestion of Raw Sewage Sludge». *Sewage and Industrial Wastes* (presently *Journal of Water Pollution Control Federation*), 30: 1225, October 1958.

19. «Investigation of Composting as a Means for Disposal of Fruit Waste Solids. Part II». Progress Report, National Canners Assoc. Research Foundation, Washington, D. C., August 1964.
20. Schulze K. L. «Rate of Oxygen Consumption and Respiratory Quotients During the Aerobic Decomposition of a Synthetic Refuse». *Compost Science*, 1: 36, Spring, 1960.
21. Schulze K. L. «Relationship between Moisture Content and Activity of Finished Compost». *Compost Science*, 2: 32, Summer, 1961.
22. Pöpel F. «Effects of Moisture and Oxygen Contents on Refuse Composting». International Research Group on Refuse Disposal. English Translation by U.S. Dept. H. E. W., IRGR Information Bulletin 13, December 1961.
23. Chrometzka P. «Determination of the Oxygen Requirement of Maturing Composts». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bulletin No. 33, August 1968.
24. Lossin R. D. «Compost Studies: Part III. Measurement of the Chemical Oxygen Demand of Compost». *Compost Science*, 12: 31, March-April 1971.
25. Niese G. «Experiments to Determine the Degree of Decomposition of Refuse by its Self-Heating Capability». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bulletin No. 17, May 1963.
26. Rolle G. and E. Orsanic. «A New Method of Determining Decomposable and Resistant Organic Matter in Refuse and Refuse Compost». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bulletin No. 21, August 1964.
27. Möller F. «Oxidation-Reduction Potential and the Hygienic State of Compost from Urban Refuse». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bulletin No. 32, August 1968.
28. Obrist W. «Enzymatic Activity and Degradation of Matter in Refuse Digestion: Suggested New Method for Microbiological Determination of the Degree of Digestion». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bulletin No. 24, September 1965.
29. Lossin R. D. «Compost Studies». *Compost Science*, 11: 16, November-December 1970.
30. Howard Albert. «The Waste Products of Horticulture and their Utilization as Humus». *Sci. Horticulture*, 3: 213, 1935.
31. Ayyar K. S., Viswanatha. *Symposium on the Utilization of Waste Products: Utilization of Farm Wastes. Madras Agricultural Journal*, 21: 335, 1933.
32. Duthie D. W. «Studies in Tropical Soils: IV. Organic Transformations in Soils, Composts, and Peat». *Journal Agr. Sci.*, 27: 162, 1937.
33. Howard A. «The Manufacture of Humus by the Indore Process». *Journal Royal Society of Arts*, 84: 25, 1935.
34. Baniface A. «The Beccari Plant at Scarsdale, N. Y.». *News and Water Works*, 76: 75, 1929.
35. Beccari G. Patent, U. S. 1,329,105, *Apparatus for Fermenting Garbage*, January 27, 1920. Reissue No. 15,417, July 25, 1922.
36. Hyde C. G. «The Thermophilic Digestion of Municipal Garbage and Sewage Sludge, with Analogies». *Sewage Works Journal*, 4: 993, 1932.
37. University of California. *Composting for Disposal of Organic Refuse*. Technical Bull. No. 1, Sanit. Eng. Research Lab., Univ. of Calif., Berkeley, 1950.
38. Eweson E. Patent, U. S. 2,178,818. *A Digester with Superposed Chambers for Conversion of Organic Wastes Such as Garbage, Etc. by Bacterial Action*. November 7, 1939.
39. Wiley J. S. «Composting Studies II. Progress Report on High-Rate Composting Studies». Purdue Univ. Engineering Bulletin, Proceedings of the 12th Industrial Waste Conference Lafayette, Ind., 1957.
40. Maier P. P. «Composting Studies I. Composting Municipal Refuse by the Aeration Bin Process». Purdue Univ. Engineering Bulletin Series No. 94, Proceedings of the 12th Industrial Waste Conference, Lafayette, Ind., 1957.
41. Wylie J. C. «Composting». *Public Cleansing and Salvage*, 41: 495, November 1951.
42. Hart S. A., W. J. Flocker, and G. K. York. «Refuse Stabilization in the Land». *Compost Science*, 11 (1): 4, January-February 1970.

43. Stovoroff R. P. «Capitalizing on Municipal Wastes by Composting». Paper presented at the Annual Meeting of the American Society of Civil Engineers, New York, October 1953.
44. Wiley J. S. «An Approach to Municipal Composting». *Compost Science*, 2: 6, Summer, 1961.
45. «Composting of Municipal Solid Wastes in the United States» Publication SW-47r, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1971.
46. Kupchick G. «The Economics of Composting Municipal Refuse». *Public Works*, 97: 127, September 1966.
47. Harding C. E. «Recycling and Utilization». *Compost Science*, 9: 4, Spring, 1968.
48. Blair M. R. «The Public Health Importance of Compost Production in the Cape». *Public Health* (Johannesburg, South Africa), 15: 70, 1952.
49. «The Agricultural Use of Sewage Sludge and Sludge Composts». Tech. Communication No. 7. Memorandum by the Agricultural Research Council Conference on Sewage Sludge and Composts. London, England, Ministry of Agriculture and Fisheries, 1948.
50. Golueke C. G. and H. B. Gotaas. «Public Health Aspects of Waste Disposal by Composting». *American Journal of Public Health*, 44 (3): 339, March 1954.
51. Banse H. J., G. Farkasdi, K. H. Knoll, and D. Strauch. «Composting of Urban Refuse». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bulletin No. 38, May 1968.
52. Knoll K. H. «Composting from the Hygienic Viewpoint». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bull. No. 7, July 1959.
53. «Progress Report». Unpublished Report, Joint USPHS-TVA Composting Project. Johnson City, Tenn., 1969.
54. Morgan M. T. and F. W. Macdonald. «Tests Show MB Tuberculosis Doesn't Survive Composting». *Journal of Environmental Health*, 32: 101, July-August 1969.
55. Quastel J. H. —Influence of Organic Matter on Aeration and Structure of Soil. *Science*, 73: 419, 1952.
56. Shinn A. F. «The Use of Municipal-Waste Compost for Growing White Clover on Calcareous Clay Soil in Tennessee». *Compost Science*, 11: 13, July-August 1970.
57. Sanderson K. C. and W. C. Martin, Jr. «Influence of Peat and Sewage Treated Garbage Compost-Amended Media on the Growth of Two Flowering Groups of Snapdragons». *Report on Research Results for Flower Growers—Snapdragon Studies, 1966—70*. Horticulture Series No. 15, Agricultural Experiment Station, Auburn Univ., Auburn, Alabama, September 1970.
58. Sanderson K. C. «Herbicide Mulch Keeps Down Weeds in Ornamentals», in *Highlights of Agricultural Research*, 1970.
59. Hortenstine C. G. «Effects of Garbage Compost on Soil Processes». Summary Progress Report submitted to the Bureau of Solid Waste Management, U. S. Dept. H.E.W., P.H.S., November 30, 1970.
60. Hasler A. and R. Zuber. «Effect of Boron in Refuse Compost». International Research Group on Refuse Disposal, Information Bull. No. 27, August 1966.
61. Hart S. A. «Solid Wastes Management-European Activity and American Potential». Final Report U.S.P.H.S., Dept. H.E.W., December 1967.
62. McGauhey P. H. «American Composting Concepts». Public. No. SW-2r, Bureau of Solid Waste Management, U.S. Dept. H.E.W., 1969.

САНИТАРНАЯ ЗЕМЛЯНАЯ ЗАСЫПКА ОТХОДОВ

Ральф Стоун

8.1. ВЫБОР МЕСТА

При выборе места для санитарной земляной засыпки необходимо уделять внимание не только техническим вопросам, но и социально-экономическим аспектам проблемы рационального использования земли.

Для независимой оценки практической пригодности места расположения санитарной засыпки следует привлекать различных специалистов.

Очень важна при определении участка засыпки общественная оценка. При прочих равных условиях необходимо отдавать предпочтение месту, против которого не возражает население данного района.

В качестве рациональной аналитической методики выбора места засыпки можно применять метод матриц.

Использование земли. Использование земли регулируется соответствующими местными и региональными управлениями, поэтому с ними следует проконсультироваться перед выбором места для санитарной засыпки. При определении пригодности места для складирования отходов и их использования необходимо принимать во внимание современную и будущую планировку района. Например, следует учитывать близость современных и будущих аэропортов, так как птицы, питающиеся отходами, могут создать опасную ситуацию для низко летящих самолетов.

Климат, топография и природные особенности. Выбор места должен быть связан с климатическими характеристиками (доминирующие ветры, количество осадков, испарения и колебания температуры), так как они влияют на образование запахов, пыли, выщелачивание, выдувание мусора, верхнего слоя почвы, эрозию и т. д. Необходимо учитывать влияние снега, льда и дождя на транспортную магистраль к месту засыпки. Следует избегать использования крутых дорог, так как они уменьшают маневренность транспортных средств. Глубина промерзания также является важным фактором при снятии верхнего слоя почвы. Такие меры по защите от промерзания, как использование для укрытия почвы изолирующего материала (например, соломы или листьев), увеличивают затраты. Важное значение имеет и топография места санитарной засыпки мусора. Она определяет такие факторы эксплуатации, как производительность, устройство дренажа, рациональное использование земли, контроль загрязнения поверхностных и подземных вод, доступ к засылке и т. д. Если возможно, следует избегать низкорасположенных заливаемых участков в связи с высокой стоимостью меро-

приятый по предотвращению загрязнения воды (например, устройство высоких дамб). При выборе места для санитарной засыпки необходимо учитывать время паводков и стока ливневых вод.

Многие операции на санитарных земляных засыпках служат для восстановления бросовых земель, непригодных для других целей, а именно карьеров после выработки гравия и песка, каменоломен, осушенных участков и т. д. Восстановление земли должно выполняться только с предварительной оценкой окружающей среды, с учетом различных краткосрочных и долгосрочных воздействий (например, нарушение существующего экологического равновесия, совместимость проекта с местными и региональными планами использования земли).

Стоимость. Стоимость квадратного метра земли является вторичным фактором по отношению к стоимости земли на 1 т размещенных твердых отходов. Большую массу отходов при малых затратах следует размещать в крутых оврагах или в глубоких ущельях, а не на плоских участках.

Общая стоимость засыпки обычно включает стоимость очистки от деревьев и кустарников, поверхностного дренажа, необходимых коммунальных сооружений (для отдаленных мест могут понадобиться электрические генераторы, грузовики с цистернами, устройство туалетов, хранилищ воды и т. д.), зеленых насаждений, подъездных дорог, строений и весов. Очень важным экономическим фактором является расстояние, на которое транспортируются отходы. Излишне большие расстояния могут вызвать потребность в дорогостоящих перевалочных станциях или даже железнодорожных перевозках. Участки засыпки отходов должны быть расположены как можно ближе к местам их сбора.

Характеристики почвы, особенно ее верхнего слоя, являются важным практическим фактором. Материал для укрытия почвы может оказаться труднодоступным или слишком дорогим. В табл. 8.1 приведены данные для оценки пригодности почвы мест для санитарных засыпок.

8.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СХЕМА МЕСТА ЗАСЫПКИ ОТХОДОВ

Оптимальный проект организации засыпки должен включать исчерпывающие данные о местности. На их основе разрабатывают планы, предусматривающие:

- 1) устройство дренажа, создание подъездных дорог, не зависящих от погодных условий, строительство ограждений, зданий, организацию санитарного контроля, снабжение водой, обеспечение участка засыпки электроэнергией, телефонной связью, весами, мастерскими для обслуживания оборудования и т. д.;

- 2) составление серии планов санитарной земляной засыпки в разрезах на различных этапах строительства;

- 3) подробное описание ежедневного порядка работ;

- 4) анализ потребности в оборудовании и рабочей силе;

Таблица 8.1. Характеристика основных видов почвы, используемой в качестве засыпки

Способность почвы	Чистый гравий	Суглинисто-илстый гравий	Чистый песок	Суглинисто-илстый песок	Лесс	Глина
Препятствовать грызунам в устройстве ходов и нор	Уд.	Хор., уд.	Уд.	Пл.	Пл.	Пл.
Предохранять от появления насекомых	Пл.	Хор.	Пл.	Уд.	Уд.	Отл.
Сводить к минимуму количество влаги, проникающей в засыпку	Пл.	Хор., уд.	Пл.	Уд., отл.	Уд., отл.	Отл.*
Сводить к минимуму количество газа, выделяющегося через покрытие засыпки	Пл.	Хор., уд.	Пл.	Уд., отл.	Уд., отл.	Отл.*
Обеспечивать хороший внешний вид и удерживать разлетающуюся бумагу	Отл.	Отл.	Отл.	Отл.	Отл.	Отл.*
Обеспечивать рост растений	Пл.	Уд.	Пл., хор.	Отл.	Уд., отл.	Хор., уд.
Быть проницаемой для газов, образующихся при разложении отходов **	Отл.	Пл.	Уд.	Пл.	Пл.	Пл.

* За исключением тех случаев, когда трещина расширяется через все покрытие.

** Только при хорошем дренаже.

Условные обозначения: Отл. — отлично; уд. — удовлетворительно; хор. — хорошо; пл. — плохо.

5) экономический анализ—учет капитальных и эксплуатационных затрат, включая уход за законченной засыпкой;

6) использование законченной земляной засыпки.

Инженеры, разрабатывающие план развития района засыпки, должны быть ознакомлены со всеми действующими инструкциями и правилами. Необходимые, установленные законом разрешения должны быть получены на стадии планирования, чтобы избежать дорогостоящих задержек в работе.

Благоустройство мест засыпки отходов. Подъездная дорога к месту засыпки должна состоять по меньшей мере из двух мощеных

полос достаточной ширины, чтобы можно было использовать тяжелые транспортные машины; уклон подъездной дороги не должен превышать 8%. Временные дороги от въезда до места разгрузки отходов могут быть грунтовыми на соответствующем основании (гравий, раздробленный мелкий камень, крупный песок, шлак или стходы бетона). Известь, портландцемент или асфальт и органические вяжущие вещества — желательные материалы для устройства дороги (облегчают устранение пыли в сухую погоду и предотвращают образование грязи во время дождей и снегопадов).

Постоянная или переносная ограда пригодна для защиты засыпки и захвата выдуваемых ветром бумаг. Площадь перед въездом следует благоустраивать, а ворота участка засыпки запирать и снабжать знаками, указывающими место размещения санитарной земляной засыпки.

Дренажные траншеи должны представлять собой хорошо спланированную систему каналов. Последние могут быть отрыты с откосами из земли. Предпочтительней, конечно, устраивать бетонные откосы. Наклон поверхности законченной засыпки должен быть не менее 2%. Уклон земляной поверхности на рабочих участках не должен превышать 2:1 (количество выпадающих дождей может продиктовать устройство более пологих уклонов). Земляная засыпка в целом должна иметь уклон 3:1 с уступами шириной в 2,4 м, чтобы обеспечить ее дренаж и доступ к ней при обслуживании. Бассейны для сбора шлама вне площади засыпки следует рассчитывать так, чтобы в них собирались дренажные воды и оседали захватываемые материалы.

Необходимо обеспечивать соответствующие санитарные устройства, желательно предусмотреть туалеты, умывальники, души, запирающиеся шкафы, место для принятия пищи, а также навес для оборудования. Значительно облегчит работу наличие электричества, воды и телефона; водоснабжение и связь особенно важны в случае аварии или пожара.

На участках санитарных земельных засыпок устанавливают весы для автомашин. Размер и тип весов зависят от местных потребностей. Весы должны быть рассчитаны на самую большую автомашину, используемую на санитарной земляной засыпке; обычно удовлетворяют платформы 50—60 т. В больших организациях по сбору отходов применяются автоматическое печатание данных и управление с помощью электронно-вычислительного устройства.

Планы развития земляной засыпки. Необходимо разрабатывать планы развития земляных засыпок, которые должны включать следующее:

1) топографическую карту местности с указанием планов предварительного благоустройства района земляной засыпки;

2) несколько промежуточных карт, содержащих схемы выемки грунта и благоустройства участка на различных этапах строительства;

3) окончательный план размещения законченной засыпки.

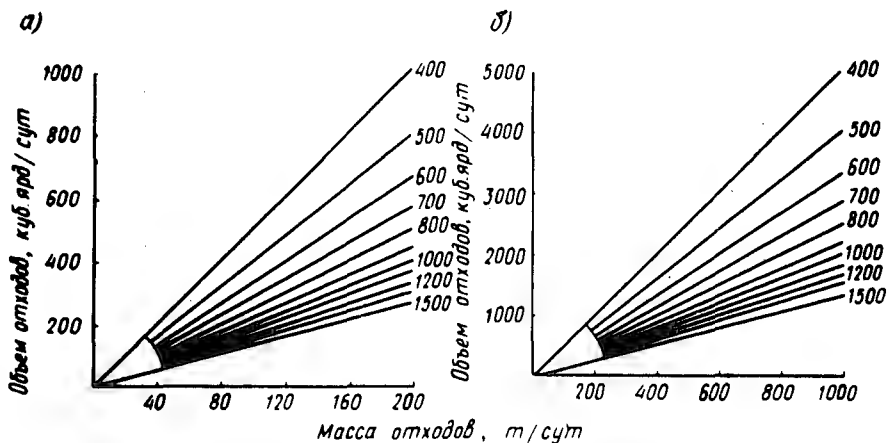


Рис. 8.1. Суточный объем уплотненных твердых отходов от небольших (а) и больших (б) городов

Числа на кривых — плотность (фунты/кубический ярд)

Для визуального контроля за состоянием земляной засыпки следует устанавливать грунтовые реперы. Для оценки суточной вместимости засыпки с учетом количества получаемых твердых отходов и ожидаемого уплотнения можно пользоваться данными рис. 8.1.

В некоторых случаях для временного хранения отходов допускается использование участков создаваемой земляной засыпки.

Потребность в оборудовании и рабочей силе. С точки зрения безопасности желательно, чтобы на санитарной земляной засыпке работали минимум два человека. В качестве примера в табл. 8.2 приведены данные, характеризующие потребность в постоянной рабочей силе для участка с ежедневной рабочей вместимостью 200—4000 т/сут.

Потребность в оборудовании колеблется в зависимости от характеристик земляной засыпки (табл. 8.3 и 8.4). Стандартным оборудованием для обработки твердых отходов, используемым на санитарных земельных засыпках, является трактор на гусеничном или резиновом ходу вместе с вспомогательными принадлежностями, включающими плоский нож, нож с зубьями, многоцелевой ковш и нож для земляной засыпки. На крупных участках применяют специализированные тяжелые механизмы — скребковые экскаваторы, скреперы, уплотнитель на стальных колесах, автомобили для перевозки воды и другое оборудование (рис. 8.2). Характеристики наиболее распространенных типов оборудования на гусеницах и на колесном ходу представлены в табл. 8.5.

Затраты. При планировании участка засыпки следует принимать во внимание капитальные и эксплуатационные затраты. Стоимость

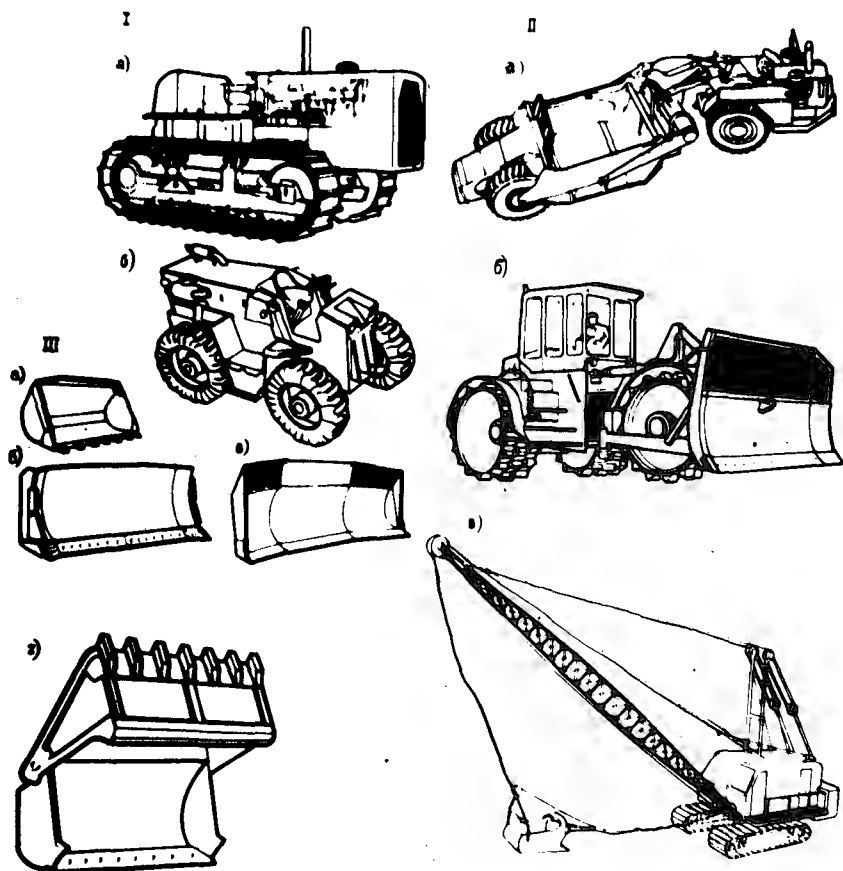


Рис. 8.2. Стандартное и специализированное оборудование для санитарной земляной засыпки

I — стандартное оборудование: а — трактор на гусеничном ходу; б — трактор на резиновых шинах; II — специализированное оборудование: а — скрепер; б — уплотнитель на стальных колесах; в — драглайн; III — навесные приспособления, устанавливаемые на тракторе: а — нож с зубьями; б — навесной плоский нож; в — нож для земляной засыпки; г — ковш многоцелевого назначения

оборудования зависит от объема операций по засыпке отходов (рис. 8.3).

Очевидно, что по мере увеличения численности населения возрастает масса ежедневно размещаемых твердых отходов. Перечисленные выше мероприятия по благоустройству санитарных земляных засыпок дешевле и легче проводить при больших масштабах работ.

Затраты на приобретение, эксплуатацию и обслуживание представлены в табл. 8.6 и 8.7; выбор соответствующего оборудования

Таблица 8.4. Средняя потребность в оборудовании для санитарных земляных засыпок

Численность населения	Масса перерабатываемых ежедневно отходов, т	Число машин	Оборудование		
			тип	масса, т	вспомогательные принадлежности *
От 0 до 15 000	От 0 до 46	1	Трактор на гусеничном ходу или резиновых шинах	От 4,5 до 13,5	Плоский нож, нож для засыпок отходов, загрузчик (1—2 м)
От 15 000 до 50 000	От 46 до 155	1	То же	От 13,5 до 27,5	То же (2—3,5 м) Ковш многоцелевого назначения
		Зависит от потребности	Скрепер		
		То же	Скребковый экскаватор		
От 50 000 до 100 000	От 155 до 310	»	Автоцистерна для воды	От 13,5 и более	Плоский нож, нож для засыпок отходов, погрузчик (2—4,5 м) Ковш многоцелевого назначения
		1—2	Трактор на гусеничном ходу или резиновых шинах		
		Зависит от потребности	Скрепер, скребковый экскаватор, автоцистерна для воды		
От 100 000 и более	От 310 и более	От 2 и более	Трактор на гусеничном ходу или резиновых шинах	От 20 и более	Плоский нож, нож для засыпки отходов, погрузчик, ковш многоцелевого назначения
	Зависит от потребности		Скрепер, скребковый экскаватор, уплотнитель на стальных колесах, дорожный грейдер, автоцистерна для воды		

* По выбору. Зависит от потребности.

**Таблица 8.2. Потребность в рабочей силе для одной из засыпок
в округе Лос-Анджелес**

Персонал	Количество отходов, т/сут			
	200	500	1000	4000
Оператор оборудования	1	2	4	12
Чернорабочий	0	0	1	2
Весовщик	1	1	1	3
Мастер	0	0	1	1

**Таблица 8.3. Потребность в оборудовании для санитарной земляной засыпки¹
[по данным изготовителей оборудования]**

Количество обрабатываемых твердых отходов за 8-часовой рабочий день, т	Гусеничный погрузчик		Гусеничный бульдозер		Колесный погрузчик с резиновыми шинами	
	мощность, л. с.	масса ² , т	мощность, л. с.	масса ² , т	мощность, л. с.	масса ² , т
0—20	< 70	< 9,1	< 80	< 6,8	< 100	< 9,1
20—50	От 70	От 9,1	От 80	От 6,8	От 100	От 9,1
	до 100	до 11,3	до 110	до 9,1	до 120	до 10,2
50—130	От 100	От 11,3	От 110	От 9,1	От 120	От 10,2
	до 130	до 14,7	до 130	до 11,3	до 150	до 12,5
130—250	От 150	От 14,7	От 150	От 13,6	От 150	От 12,5
	до 190	до 20,4	до 180	до 15,9	до 190	до 15,9
250—500	Сочетание машин		От 250	От 21,5	Сочетание машин	
			до 280	до 31,8		
Сверх 500	Сочетание машин					

¹ Одна машина определенного класса разравнивает, уплотняет и засыпает участок, рабочая поверхность которого составляет 100 м.

² Масса основного механизма без учета массы ножа с зубьями и других вспомогательных средств.

Таблица 8.5. Рабочая характеристика оборудования для санитарной земляной засыпки

Оборудование	Твердые отходы		Материал засыпки			
	разра- нивание	уплот- нение	выемка грунта	разра- нивание	уплот- нение	транс- порти- ровка
Трактор на гусенич- ном ходу с плоским ножом	Отл.	Уд.	Отл.	Отл.	Уд.	Н/п
Трактор на гусенич- ном ходу с погрузчи- ком	Уд.	Уд.	Отл.	Уд.	Уд.	Н/п
Трактор на резино- вых колесах с пло- ским ножом	Отл.	Уд.	Хор.	Уд.	Уд.	Н/п
Трактор на резино- вых колесах с по- грузчиком	Уд.	Уд.	Хор.	Уд.	Уд.	Н/п
Уплотнитель	Отл.	Отл.	Пл.	Уд.	Отл.	Н/п
Скрепер	Н/п	Н/п	Уд.	Отл.	Н/п	Отл.
Скребковый экска- ватор	Н/п	Н/п	Отл.	Хор.	Н/п	Н/п

* Основание для оценки: легко разрабатываемая почва и материал покры-
тия, перемещаемый на расстояние более 300 м.

Условные обозначения: отл. — отлично, уд. — удовлетворительно, хор. —
хорошо, пл. — плохо, н/п — не применяется.

может значительно ограничить затраты на земляную засыпку отхо-
дов. На рис. 8.4 показано, как влияет количество ежедневно обра-
батываемых твердых отходов на эксплуатационные расходы. Сани-
тарная земляная засыпка является относительно экономичным про-
цессом обработки и размещения твердых отходов.

Работа в различных погодных условиях. Особое значение при-
дается рабочим требованиям для зон с чрезвычайно холодной и
влажной погодой. Для продолжительной работы при низкой темпе-
ратуре требуются:

1) выемка грунта и накопление материала для покрытия до на-
ступления морозов;

2) размещение на подготовленном участке слоя изолирующего
материала, например листьев, травы или соломы, толщиной до
90 см;

3) выкапывание траншей или подготовка участков для засыпки
отходов и изолирующего материала покрытия;

4) хранение оборудования в утепленном укрытии;

Таблица 8.6. Ориентировочные капитальные затраты на оборудование

Тип оборудования	Основной механизм		Комплект оборудования		Примечание
	мощность, л. с.	масса, т	масса *, т	стоимость, долл. (1970 г.)	
Бульдозер на гусеничном ходу	<80	<6,8	8,6	21 000	Нож для засыпки
	110—130	9,1—11,3	14,5	38 000	отходов
	250—280	21,5—23,6	30,4	70 000	То же
Погрузчик на гусеничном ходу	<70	<9,1	10	21 000	ЧОН—0,75 м ³
	100—130	11,3—14,7	14	30 000	ЧОН—1,5 м ³
	100—130	11,3—14,7	15,5	32 000	ЧМН—1,3 м ³
	150—190	14,7—20,4	20,4	46 000	ЧОН—2,3 м ³
	150—190	14,7—20,4	21,3	49 000	ЧМН—1,9 м ³
	150—190	14,7—20,4	21,3	49 000	ЧМН—1,9 м ³
Колесный погрузчик	100	<9,1	7,7	21 000	ЧОН—1,3 м ³
	100	<9,1	8,2	23 000	ЧМН—1,1 м ³
	120—150	10,7—12,5	10,4	33 000	ЧОН—3 м ³
	120—150	10,2—12,5	11,8	36 000	ЧМН—2,3 м ³

* Масса основной машины с учетом массы боковых щитков двигателя, защиты радиатора, вентилятора с реверсируемым направлением вращения, ножа или ковша общего многоцелевого назначения.

Условные обозначения: ЧОН — черпак общего назначения, ЧМН — черпак многоцелевого назначения.

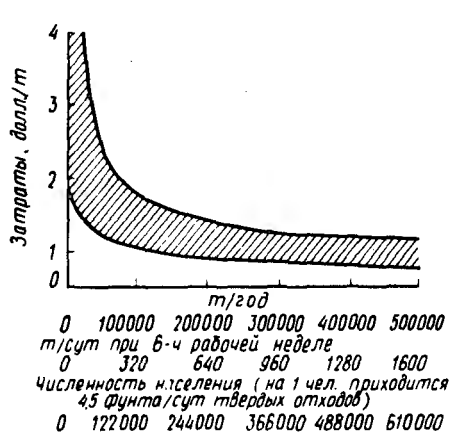


Рис. 8.3. Затраты на обслуживание санитарной земляной засыпки

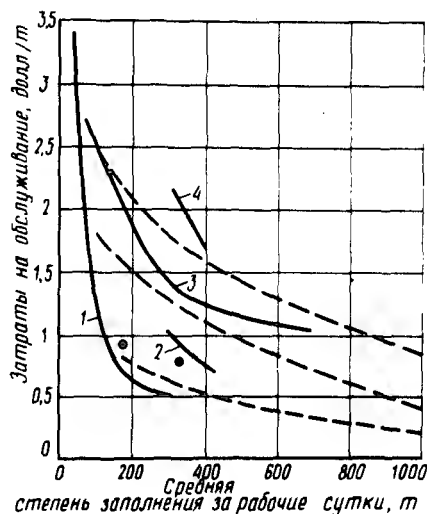


Рис. 8.4. Влияние объема складирования на предполагаемые затраты на санитарную земляную засыпку

1 — работает один бульдозер с плоским ножом; 2 — работают два бульдозера с плоским ножом; 3 — работают бульдозеры с плоским ножом и скрепер; 4 — работают бульдозеры с плоским ножом, рыхлитель, скрепер; 5 — работают бульдозеры с плоским ножом, рыхлитель, скрепер; пунктирные линии соответственно (сверху вниз) — максимальные, средние и минимальные затраты, основанные на характеристиках участка для засыпки; залитые точки — данные для зоны Денвера

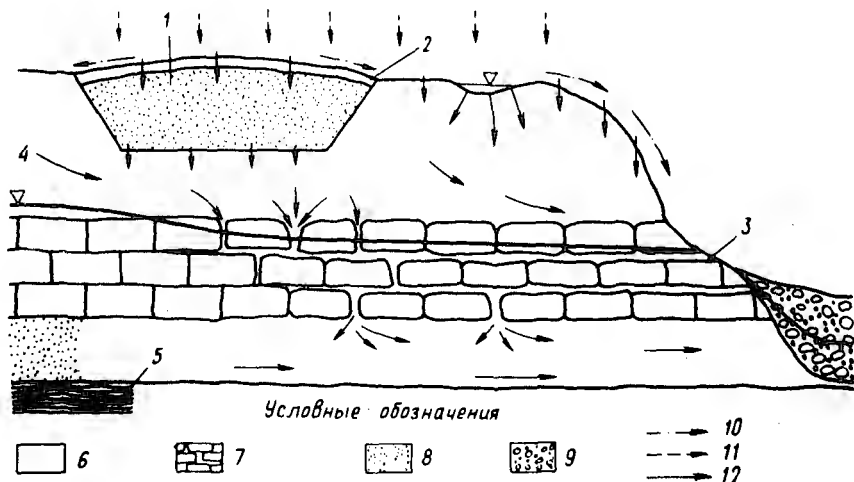


Рис. 8.5. Выщелачивание и инфильтрация

1 — санитарная земляная засыпка; 2 — покрытие из почвы; 3 — сток воды; 4 — верхний уровень грунтовых вод; 5 — непроницаемый глинистый сланец; 6 — тощая глина; 7 — известняк с трещинами; 8 — проницаемый песчаник; 9 — водоносный гравий; 10 — поверхностный сток; 11 — осадки; 12 — подземное движение вод

5) оборудование тракторов и других механизмов шипами на гусеницах при необходимости работы на льду;

6) обеспечение подогрева кабины для оператора.

Т а б л и ц а 8.7. Эксплуатационные расходы при использовании уплотнителя

Показатель	Гусеничный трактор	Уплотнитель на резино-вых шинах	Уплотнитель на стальных шинах
	(июль 1967 г.— сентябрь 1968 г.)	(июль 1967 г.— январь 1968 г.)	(февраль— сентябрь 1968 г.)
Обслуживание, топливо, ремонт, долл.	12 835 *	3 460 **	1 603 ***
Оплата труда при зарплате 5,4 долл/ч, включая 23% дополнительных выплат, при 40-часовой рабочей неделе, долл.****	14 040	6 552	7 480
Амортизация из расчета 6% в год:			
капитальные затраты, долл.	45 000	50 000	50 000
срок службы, лет	6	10	10
годовой показатель, долл/лет	9 151	6 794	6 794
сумма, долл.	11 439	3 963	4 529
общие затраты, долл.	38 314	13 995	13 620
Время работы, ч:			
по показаниям счетчика *****	1 604	567	911
холостой ход (менее 10%)	160		
фактическое время работы	1 444	567	911
Затраты на единицу продукции, долл/ч	26,53	24,68	14,95
Средняя скорость укладки и уплотнения твердых отходов, т/ч ¹⁾	35	30	35
Затраты на единицу продукции, долл/т	0,76	0,82	0,43

* Не включены затраты на ремонт тракторов. Используется оборудование, приобретенное в ноябре 1965 г.

** Включает $\frac{1}{3}$ стоимости (4148 долл.) наварки новых протекторов на 4 покрышки. Использован новый уплотнитель.

*** В феврале 1968 г. были установлены стальные колеса. Стоимость колес (11 791 долл.) исключена.

**** Средняя зарплата операторов оборудования; исключены случайные переработки; учтено время простоев.

***** Когда уплотнитель останавливается на время обеденных перерывов, двигатель выключается, а гусеничный трактор в эти периоды работает на холостом ходу.

¹⁾ Значения основаны на данных об общем количестве обработанных отходов и времени, затраченном на все операции по засыпке.

В чрезвычайно влажных местах следует предусматривать мощные подъездные дороги и соответствующие участки для сваливания отходов в отвал. Обломки строительного мусора часто используют в качестве основания при устройстве дорог.

8.3. ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

При разработке проекта санитарной земляной засыпки следует учитывать такие факторы, как автомобильный транспорт, выщелачивание, образование газа, запах, шум, эстетический вид, загрязнение воздушной среды, пожары, распространители болезней и др.

Выщелачивание. Хотя некоторое количество щелока образуется при разложении органических твердых и уплотнении влажных отходов, основным фактором, вызывающим его образование, является приток воды извне (например, частое выпадение дождей). Щелоки могут содержать растворенные и взвешенные материалы всех видов (табл. 8.8). В табл. 8.9 представлены данные о составе щелока, полученного из органических и зольных отходов при различных параметрах окружающей среды.

Таблица 8.8. Концентрации загрязняющих веществ в продуктах выщелачивания типичных бытовых отходов

Компонент или определяемая характеристика	Предельные концентрации, мг/л
<i>Содержание ионов</i>	
Железо	200—1700
Цинк	1—135
Фосфор	5—130
Сера	25—500
Хлор	100—2400
Натрий	100—3800
Азот	20—500
Жесткость (по CaCO_3)	200—5250
Никель	0,01—0,8
Медь	0,1—9
<i>Другие характеристики</i>	
Химическая потребность в кислороде	100—51 000
Общее количество осадков	1000—45 000
pH	4—8,5

Приток воды извне на территорию земляной засыпки можно ограничить следующими мерами:

- 1) использованием участков, позволяющих избежать непосредственного соприкосновения отходов с поверхностными и грунтовыми водами;
- 2) применением правильного уклона поверхностного покрытия, чтобы увеличить сток дождевой воды;
- 3) озеленением законченной земляной засыпки, что предотвращает эрозию и увеличит сток, а также испарение;
- 4) использованием влагонепроницаемого материала покрытия с максимальными характеристиками стока;
- 5) предотвращением выщелачивания путем использования в засыпке твердых, хорошо уплотненных отходов и почвенного покрытия с низким содержанием влаги;
- 6) устройством дренажа для отвода поверхностных и грунтовых вод.

Предполагаемую степень выщелачивания и, следовательно, характеристики участка, выбранного для засыпки, можно определить на основе параметров, характеризующих количество выпадаемых осадков и захороняемых отходов.

Если почва засыпки и твердые отходы получают воду в количестве, превышающем расчетное значение, щелок от выщелачивания будет выделяться наружу. Режим, при котором продукт выщелачивания может загрязнить грунтовые воды, иллюстрирует рис. 8.5.

Образование газов. При разложении отходов образуются различные газы. На протяжении первых нескольких дней процесс разложения является аэробным, при этом выделяются значительные количества тепла и, в основном, выделяется двуокись углерода. После того как будет израсходован весь свободный кислород, начинается анаэробное разложение, при котором образуются метан и двуокись углерода. Отмечалось выделение некоторого количества сероводорода при разложении отходов, содержащих сульфаты. Влияние различных методов размещения отходов, их влажности, плотности, а также глубины отбора пробы на количество образующихся газов иллюстрируют данные табл. 8.10. На рис. 8.6 показаны типичные изменения содержания метана, двуокиси углерода и кислорода в санитарной земляной засыпке в зависимости от времени.

Двуокись углерода и метан на окружающую среду влияют по-разному. Двуокись углерода растворима в воде и может адсорбироваться в щелоке, увеличивая его коррозионность и кислотность. Метан легко диффундирует и взрывается при атмосферном давлении при концентрации 5—15% (по объему). Физические свойства метана и двуокиси углерода приведены в табл. 8.11.

Контроль за появлением газа и дорог, и труден. Используются два основных метода контроля движения газа — глиняные барьеры и вентиляционные отверстия (рис. 8.7). Вентиляционные отверстия для газа совершенно необходимы, если предусматривается окончательное покрытие засыпки непроницаемым материалом.

Запахи, пожары и переносчики болезней. Проблемы, связанные

Т а б л и ц а 8.9. Состав щелока от выщелачивания отходов и золы из печи для сжигания мусора

Определяемая характеристика или компонент	Содержание, %					
	1 *	1 **	2 ***	3 ****	3 *****	3 ¹⁾
Перманганатная проба:						
30 мин	0,039					
4 ч	0,06	0,037				
Хлор	0,105	0,127		0,11	0,087	
Аммиачный азот	0,055	0,037		0,036		
Биологическая потребность в кислороде	0,515	0,249		1,27		
Органический углерод	0,285	0,163				
Сульфат	0,13	0,084 (по SO ₄)		0,011	0,22	0,3
Сульфид	0,011					
Альбуминовидный азот	0,005					
Щелочность (по СаСО ₃)				0,39	0,042	
Кальций				0,08	0,021	2,57
Магний				0,015	0,014	0,24
Натрий			0,26	0,075	0,078	0,29
Калий			0,135	0,09	0,049	0,38
Общее железо				0,01		
Неорганический фосфор				0,0007		
Нитрат					0,0025	
Органический азот	0,0075	0,0072		0,016		

* Бытовые отходы, выщелачиваемые в стоячей воде.

** Бытовые отходы, выщелачиваемые в избытке воды в естественных условиях.

*** Отходы из Лонг Бич (шт. Калифорния), выщелачиваемые в лаборатории перед сжиганием и после него.

**** Бытовые отходы из Риверсайда (шт. Калифорния), выщелачиваемые водой в испытательном мусорном бачке.

***** Зола печи для сжигания отходов (шт. Калифорния), выщелачиваемая водой в испытательном мусорном бачке.

¹⁾ Зола печи для сжигания отходов (южная часть шт. Калифорния), выщелачиваемая кислотой в испытательном мусорном бачке.

Т а б л и ц а 8.10. Содержание различных соединений в газах, образующихся при различном размещении твердых отходов

Способ размещения отходов	Содержание влаги, % по массе	Плотность уложенных отходов, кг/м ³	Глубина отбора пробы, м	Содержание, % по объему			
				CO ₂	N ₂	O ₂	CH ₄
Отходы размещены сплошным слоем на глубину 5,5 м; 0,6-м покрытие землей. Отходы уплотнены	80,1	570	1,8	56/33,4	28,9/5,7	5,3/0	54,1/16,7
			4,6	75/37,4	20,4/0	4,9/0	55,7/20,3
Отходы размещены 1,2-м слоями, разделенными 0,3-м слоем земли, и покрыты слоем земли в 0,3 м	43,5	500	1,8	33,4/25,4	72,3/45,4	10,2/0,1	28,1/0
			4,6	50,8/33	57,9/21,5	1,8/0	37,8/1,5
То же	29,4	420	1,8	49,8/17	82/46,4	5,9/0,2	1,2/0
			4,6	36/22,4	74,1/57,1	6,4/0	2,3/0,2
Отходы размещены сплошным слоем на глубину 5,5 м; 0,6-м земляное покрытие; минимальное уплотнение	51,9	325	1,8	37,2/10,4	80,3/52,3	11,7/0	9,6/0
			4,6	40,6/23,9	74,5/43,1	4,8/0	14,7/0,5
Земля перемешана с отходами в соотношении 1 : 2,2	34,8	410	1,8	38/19	74,1/41,4	5/0	22,5/0
			4,6	48,1/32,5	62,8/37,2	1,5/0,1	24,8/1,1

Способ размещения отходов	Содержание влаги, % по массе	Плотность уложенных отходов, кг/м ³	Глубина отбора пробы, м	Содержание, % по объему			
				CO ₂	N ₂	O ₂	CH ₄
Секция над поверхностью земли на гравии, чтобы облегчить доступ воздуха со всех сторон	89,8	450	1,8	41,9/5,8	91,7/46,5	25,9/0	11,3/0
Отходы размещены сплошным слоем на глубину 5,5 м; 0,6-м земляное покрытие			4,6	39/9,1	84,6/47,7	10,6/0,3	9,4/0,2

Примечание. Исследование продолжалось 873 сут. До черты — максимальные, после черты — минимальные значения.

Рис. 8.6. Зависимость количества газов, образующихся на санитарной земляной засыпке, от времени

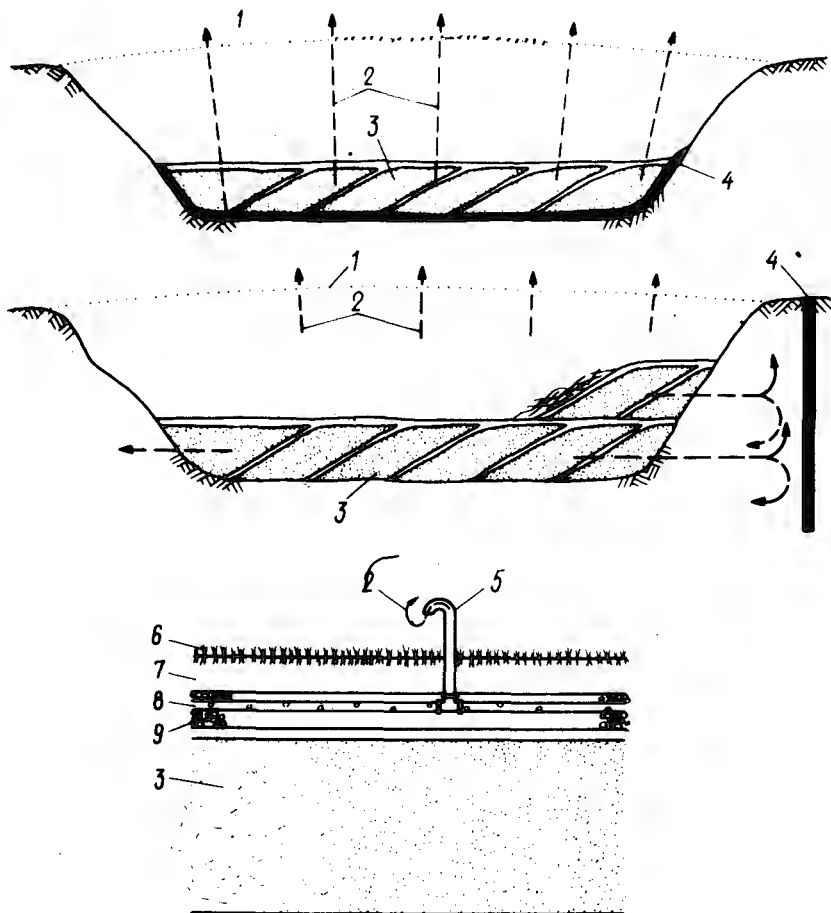
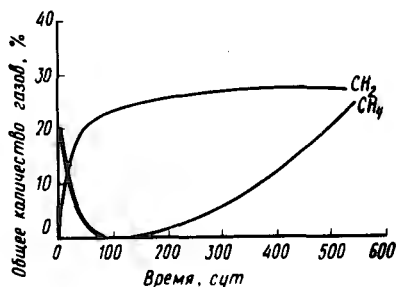


Рис. 8.7. Схема удаления газов из санитарной земляной засыпки

1 — проектируемая окончательная степень заполнения засыпки; 2 — выделяющийся газ; 3 — сэкция засыпки; 4 — глиняный барьер; глина может быть уложена слоем путем экскавации или как разделительная стенка, чтобы предотвратить подземное протекание газа; 5 — коллекторный гребень; 6 — растения; 7 — материал для окончательного укрытия; 8 — перфорированные горизонтальные трубы; 9 — гравий; внизу — схема сбора газов

Таблица 8.11. Физические свойства метана и двуокиси углерода

Показатели свойств	CH ₄	CO ₂
Цвет	Отсутствует	
Запах	»	
Плотность при нормальных условиях, г/л	0,717	1,977
Относительная плотность по воздуху при нормальных условиях	0,554	1,529
Растворимость в воде при нормальных условиях, объемная доля	0,33	0,88
Растворимость (качественный показатель)	Слабая	Умеренная

с запахами, с пожарами и носителями инфекций, могут быть сведены к минимуму при правильном применении почвы для засыпки. Последние исследования показали, что почва способствует удалению запахов, распространяющихся от земляной засыпки из-за разложения органических веществ. Почва препятствует также возникновению очагов пожаров и создает барьер, предотвращающий распространение огня. Пожароопасность может быть сведена к минимуму при правильной обработке воспламеняемых грузов, подаваемых мусоровозами. Горящие твердые отходы следует немедленно сгрести с рабочего участка с помощью бульдозера.

Твердые отходы ежедневно укрывают 15-см слоем хорошо уплотненной глинистой почвы, что предотвращает свободное передвижение крыс и других разносчиков инфекций по земляной засыпке. Такое земляное покрытие препятствует также питанию птиц. Трудно проникнуть через хорошо уплотненное покрытие и насекомым. Необходимо тщательно разравнивать почву, чтобы заполнить все углубления — это предотвращает образование бассейнов с застоявшейся водой, в которых могут размножаться комары.

Шум и внешний вид засыпки. Прокладывание маршрутов транспорта, перевозящего отходы через промышленные и торговые зоны, а также зоны с низкой плотностью населения снижает его вредное воздействие. Практична постройка барьеров от шума вокруг санитарной засыпки, например земляных валов или заборов; одновременно они улучшают внешний вид участка, особенно если засадить его деревьями. Такие меры, как ограждение места земляной засыпки, запрещение сбрасывать мусор вне этого места и укрытие от посторонних старых автомашин и механизмов, также направлены на улучшение внешнего вида района засыпки. Необходимо следить за чистотой проходной и периодически очищать от мусора подъездные дороги.

Пыль и загрязнение воздуха. Основная транспортная магистраль и подъездные дороги должны быть пригодны для эксплуатации в любую погоду. При этом их следует поливать водой или каким-либо раствором, чтобы избежать появления пыли. Для покрытия отходов необходимо использовать почву, устойчивую против эрозии. Границы участка земляной засыпки должны быть засажены растениями. Для уменьшения шума и загрязнения воздуха все оборудование, размещенное на земляной засыпке, необходимо обеспечить соответствующими устройствами.

8.4. ПОДГОТОВКА ОБЩЕСТВЕННОГО МНЕНИЯ

Исследователи должны быть готовы к отрицательному отношению населения к размещению в районе их проживания санитарной земляной засыпки. Общественное мнение необходимо учитывать уже на стадии планирования. Несогласие с расположением санитарной земляной засыпки может исходить от любой из перечисленных ниже групп населения:

- 1) владельцев частной собственности, которые считают, что близкое к ним расположение участка земляной засыпки может повлиять на их общественное положение и уменьшить стоимость земли;
- 2) жителей города, возражающих против излишних затрат на удаление отходов;
- 3) групп населения, препятствующих любым переменам;
- 4) городских жителей, беспокоящихся о сохранении природных ресурсов;
- 5) населения, обеспокоенного вопросами усиления автомобильного движения, обеспечения безопасности и охраны здоровья, неблагоприятного воздействия на окружающую среду (крысы, насекомые, шум, летающая в воздухе бумага и т. д.);
- 6) городских жителей, полагающих, что будет продолжаться прежняя практика удаления отходов — свалка мусора.

В каждой программе отношений с населением следует предусмотреть вопросы, на которые должен быть дан технически грамотный ответ. Для завоевания общественного мнения используются следующие мероприятия:

1. Всем интересующимся вопросами удаления отходов должна быть предоставлена точная и исчерпывающая информация об особенностях организации земляных засыпок; необходимо предусмотреть поездки на успешно действующие и законченные санитарные земляные засыпки.
2. Ознакомление с планами регулирования дорожного движения, данными о скорости, нагрузках, допустимых уровнях шума и выделяющихся газах.
3. Анализ общественного мнения — статистически представительный опрос.
4. Вовлечение в обсуждение вопроса широких кругов населения.
5. Организация пропаганды — доклады, фильмы об обработке

твердых отходов, использование радио и телевидения для распространения информации, наглядная агитация.

Главным препятствием при организации земляной засыпки является неинформированность населения в вопросах удаления твердых отходов. Общественность должна знать, что представляет собой санитарная земляная засыпка. При этом должны быть обсуждены другие возможные способы удаления отходов, представлены детальные проектные и экономические данные, показано, что земляная засыпка соответствует санитарно-гигиеническим требованиям.

8.5. ПОРЯДОК РАБОТЫ НА САНИТАРНОЙ ЗЕМЛЯНОЙ ЗАСЫПКЕ

Различают два основных метода работы — поверхностная и траншейная засыпка (рис. 8.8 и 8.9). Последний метод обычно применяют в условиях равнинных и холмистых местностей; твердые отходы помещают в выкопанные экскаватором траншеи, и вынутую из траншей землю используют в качестве покрытия. Метод поверхностной засыпки практикуется, если имеются лощины, глубокие ущелья, открытые карьеры или другие подобные площади. Землю для покрытия получают срезанием почвенного слоя засыпки. Твердые отходы подвергаются уплотнению с помощью специальных катков и засыпаются следующей порцией отходов или землей. В любом случае расстояние от рабочей поверхности засыпки до материала покрытия (толщина слоя отходов) должно быть минимальным. Это позволяет экономить время и топливо. Площадь образуемой каждый день новой рабочей поверхности засыпки долж-

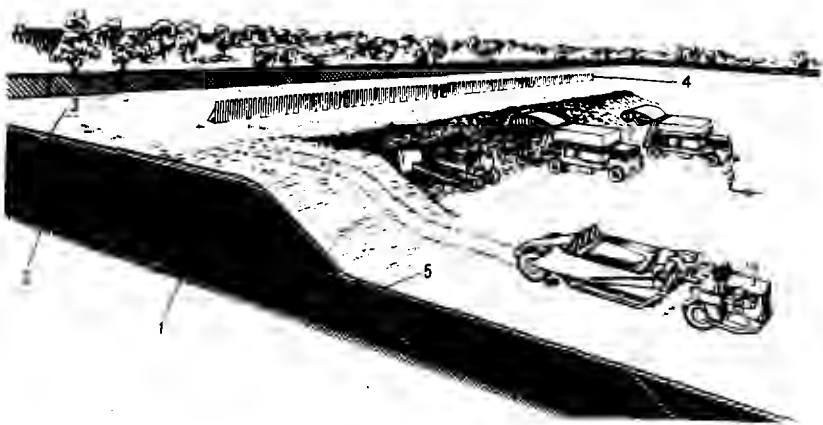


Рис. 8.8. Метод поверхностной санитарной земляной засыпки. Бульдозер распределяет и уплотняет твердые отходы. Скрепер (на переднем плане) используется для транспортировки материала покрытия в конце смены. Переносное ограждение захватывает сдуваемый ветром мусор

1 — уплотненные твердые отходы; 2 — земля; 3 — окончательное покрытие из земли (60 см); 4 — переносное ограждение для улавливания бумаги; 5 — суточное покрытие из земли (15 см)

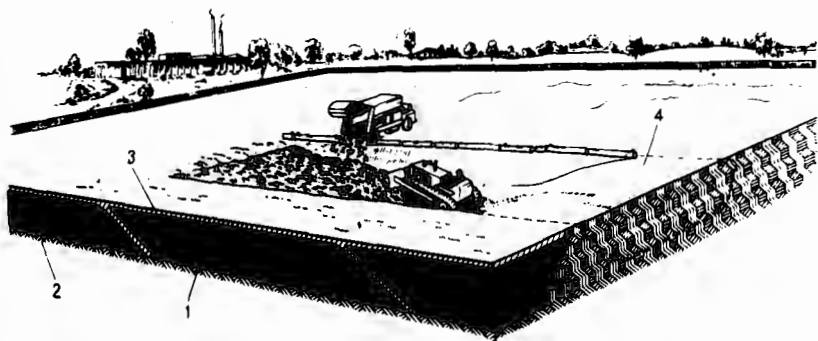


Рис. 8.9. Метод траншейной земляной засыпки

Мусоровоз сбрасывает свой груз в траншею, где бульдозер разравнивает и уплотняет его. В конце дня скрепковый экскаватор выкапывает почву из траншеи, которая затем используется как материал для ежедневного покрытия. Траншеи могут быть также открыты с помощью погрузчика, бульдозера или скрепера

1 — уплотненные твердые отходы; 2 — вырытая земля; 3 — ежедневное покрытие из земли (15 см); 4 — земляное покрытие, полученное при открытии траншеи

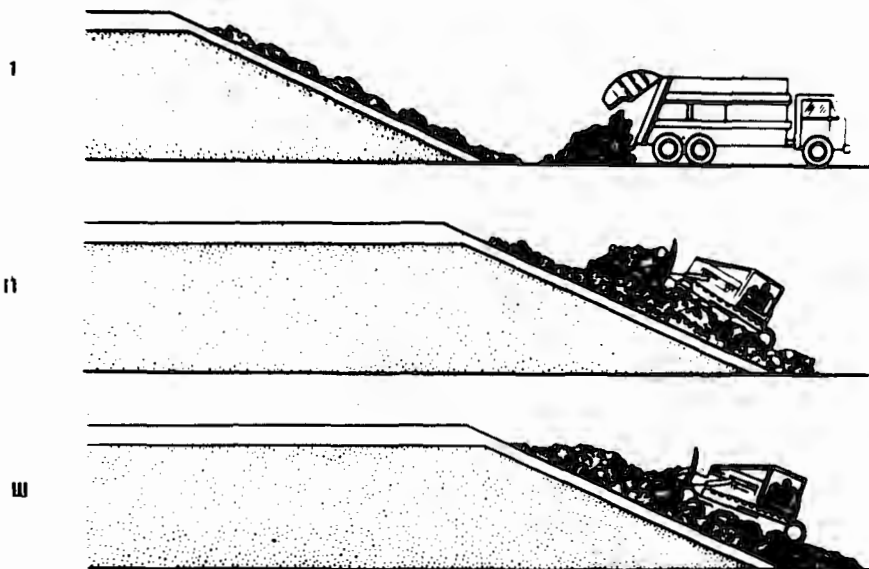


Рис. 8.10. Порядок работы на санитарной земляной засыпке

Засыпка получается более плотной, если твердые отходы разложены слоем менее 60 см и затем уплотнены машиной на гусеницах, резиновых шинах или стальных колесах. Оператор должен поддерживать уклон рабочей поверхности в $20-30^\circ$

I — первый этап: разгрузка твердых отходов в нижней части уклона; II — второй этап: раздвижка тонким слоем (приблизительно 60 см); III — третий этап: уплотнение трактором слоя твердых отходов; операция повторяется 2-5 раз

на быть минимальной (около 6×9 м). Это позволяет экономить расход почвы покрытия и уменьшать загрязнение участка. Последовательность засыпки должна быть тщательно продумана, чтобы спланировать маршрут транспорта через уже заполненные площади для дополнительного уплотнения твердых отходов и почвы (такого маршрута следует, однако, избегать во влажную погоду).

Мусоровозы должны сбрасывать твердые отходы как можно ближе к месту засыпки. Однако нет необходимости, чтобы автомобили поднимались на верхнюю часть свежих неукрытых отходов. Твердые отходы необходимо размещать и уплотнять на рабочей поверхности с уклоном $20\text{—}30^\circ$. Слои толщиной не более 60 см после размещения отходов следует уплотнять двумя—пятью проходами бульдозера или уплотнителя (рис. 8.10). Разгрузка, разравнивание и уплотнение должны быть направлены на то, чтобы получить тонкие ровные слои отходов и почвы и создать требуемый уклон, выдержав постоянные размеры секций. По мере необходимости обработанный участок в данной секции необходимо плотно укрывать слоем земли не менее 15 см. Незакрытой должна оставаться только минимальная рабочая поверхность. В конце рабочего дня оставшуюся массу отходов необходимо засыпать землей и уплотнить. Мусор нельзя держать открытым более 12 ч. Беспорядочное хранение твердых отходов на санитарных земляных засыпках не разрешается. Беспорядочно разбросанный мусор опасен для здоровья людей, ухудшает внешний вид участка и мешает работе. В связи с этим не рекомендуется на местах засыпок разгрузка частных автомашин.

8.6. ЗАСЫПКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЛИ ОБРАБОТАННЫХ ОТХОДОВ

Специальные твердые отходы. Раздавливаемые громоздкие предметы, например корпуса автомобилей, можно укладывать сверху рабочей поверхности засыпки. Мусор от разрушенных зданий направляют в отдельную зону для использования в строительстве подъездных дорог или также размещают непосредственно в верхней части засыпки. При проезде над громоздкими предметами, например пнями, необходимо соблюдать осторожность, чтобы избежать механических повреждений и даже опрокидывания механизмов. Изношенные резиновые покрышки амортизируют и могут выступать на поверхность. Поэтому их не следует концентрировать в одном месте.

Металлические конструкции и трубы, кабель и провода могут вызвать механические повреждения механизмов или поранить персонал. Эти отходы и острые предметы должны быть немедленно покрыты слоем земли и твердыми отходами. Твердые отходы, обладающие низкой плотностью, например листья и дворовый мусор, могут восстановить свой объем после уплотнения. Их следует размещать равномерно слоем толщиной менее 30 см и уплотнять другими твердыми отходами обычного типа с большой массой. Твердые порошкообразные отходы, например опилки, необходимо увлажнять, чтобы предотвратить сдувание их ветром, и быстро укрывать

нужно зарывать. Для переработки животного сырья следует, насколько это возможно, использовать специальные установки.

Обработанные твердые отходы. На санитарных земляных насыпках осуществляют захоронение предварительно измельченных и брикетированных отходов, а также остатков от процесса утилизации.

Предварительная обработка включает резку, разрывание, размалывание и раздробление ударом. При этом размер частиц твердых отходов уменьшается до 5—15 см. Захоронение измельченных отходов улучшает внешний вид насыпки, уменьшает время на размещение и уплотнение, ограничивает или даже исключает ежедневную необходимость в покрытии, ускоряет разложение, повышает плотность насыпки, позволяет сконцентрировать продукты выщелачивания, облегчает решение вопросов, связанных с переносчиками инфекций.

Остатки от процесса утилизации включают твердые отходы от сжигания мусора, пиролиза, образования компоста, классификации отходов и операций по их регенерации. Остатки из печей сжигания уплотняются легче и требуют меньше места, чем обычные твердые отходы.

Измельченные отходы и остатки от процессов утилизации обрабатывают обычным образом. Эти твердые отходы не являются инертными. Они способны образовывать некоторое количество метана, выщелачиваться и осаждаться. Однако в измельченных твердых отходах аэробное разложение ускоряется и содержание этого газа уменьшается. С остатками от печей сжигания и пиролиза следует обращаться с осторожностью, чтобы предотвратить пожары, которые могут быть вызваны содержащимися в них горячими углями. Если обработанные отходы получают одновременно с обычными, целесообразно располагать их в разных местах земляной насыпки.

Брикетированные твердые отходы высокой плотности (960—1120 кг/м³) создаются прессованием. Иногда такие брикеты следует обвязывать; обычно их длина 1,2—1,8 м и поперечное сечение 0,9—1,2 м. Преимущества захоронения брикетированных отходов таковы: ограничиваются затраты на транспортировку, перевозку и размещение; улучшается внешний вид насыпки; возрастает вместимость вследствие увеличения плотности укладки; уменьшается потребность в земле для покрытия; облегчается решение проблем, связанных с переносчиками инфекций и разбрасыванием мусора, и требуется значительно меньшая площадь участка насыпки.

Оборудование необходимо лишь для ежедневного покрытия насыпки землей. Основание должно быть ровным, чтобы можно было укладывать брикеты плотно друг к другу. При последующем увеличении объема брикетов на 10—15% зазоры между ними уменьшатся.

Затраты. Предварительная обработка твердых отходов значительно снижает затраты на их удаление (рис. 8.11). Например, при

захоронении брикетированных твердых отходов снижаются общие транспортные затраты, что приводит к увеличению степени использования транспорта, и сводятся к минимуму затраты на оборудование для земляной засыпки. Однако стоимость обработки твердых отходов описанным выше способом обычно составляет 2—6 долл./т. Очевидно, использование большого парка оборудования и обработка значительных количеств материала повысят эксплуатационные затраты, и, следовательно, уменьшится экономия за счет стоимости транспортировки.

8.7. КОНТРОЛЬ ЗА САНИТАРНЫМИ ЗЕМЛЯНЫМИ ЗАСЫПКАМИ

Во многих штатах в целях охраны окружающей среды установлен контроль за санитарными земляными засыпками. Контролируются процессы выщелачивания, образования газов и осадка засыпки.

Выщелачивание. При контроле изменений качества поверхностных или грунтовых вод важно знать качество природной воды. В противном случае присутствующие в природной воде примеси могут быть ошибочно приписаны влиянию санитарной земляной засыпки. Контролируемый отбор проб грунтовых вод и их анализ — наиболее общий вид контроля санитарной засыпки отходов. Скважины, пробуренные при выборе места засыпки, обычно слишком малы для проведения контроля подземных вод в течение продолжительного времени (рис. 8.12). Застоявшуюся воду перед отбором пробы из скважины следует сливать. Контроль грунтовых вод должен осуществляться с использованием, по меньшей мере, одной скважины выше по течению и двух или трех скважин в более низких местах. Типичные результаты контроля грунтовых вод представлены в табл. 8.12 и на рис. 8.13. Ионы хлора оказались отличным индикатором при выявлении влияния продуктов выщелачивания на грунтовые воды. Определяются также pH, щелочность, содержание нитратов, фосфатов, кальция, натрия, калия, проводимость, биологическая и химическая потребность в кислороде. Проверяют, нет ли в воде кишечных бактерий.

Во многих случаях рекомендуется контролировать влияние продуктов выщелачивания на качество грунтовых вод. Это возможно только в тех случаях, когда твердые отходы размещены на относительно водонепроницаемом основании (конструктивно или благодаря качеству почвы) или если щелок от выщелачивания отходов откачивается. Скважины не должны проходить через засыпку, потому что продукты выщелачивания могут попасть в грунтовые воды.

Образование газов. Первоначальный контроль газа может не потребоваться, если нет причины ожидать, что выделяются метан или двуокись углерода или что они проникли с другого участка. Обычно определяют степень разложения или направление потока газа. Метан диффундирует через пористую среду, что может вызвать взрывы на расстоянии 1800 м и более от места земляной засыпки отходов.

Рис. 8.11. Стоимость типичной санитарной земляной засыпки

1 — стоимость собственно земляной засыпки; 2 — суммарная стоимость с учетом стоимости транспортировки; 3 — измельченные отходы; 4 — брикетированные отходы; 5 — необработанные отходы

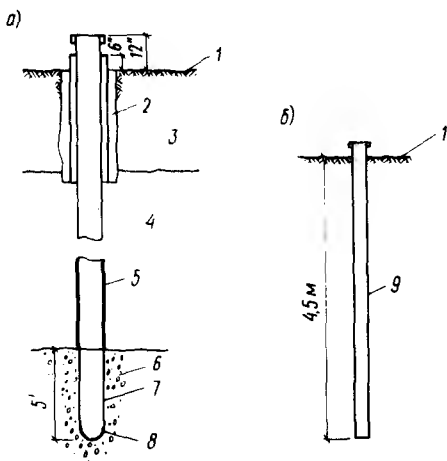
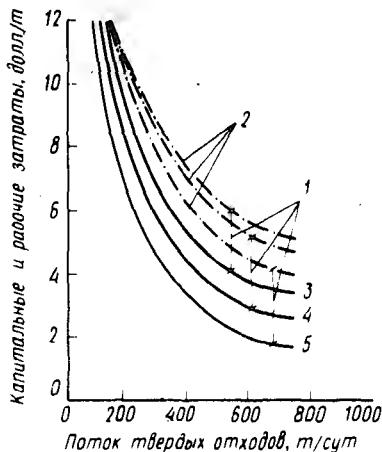
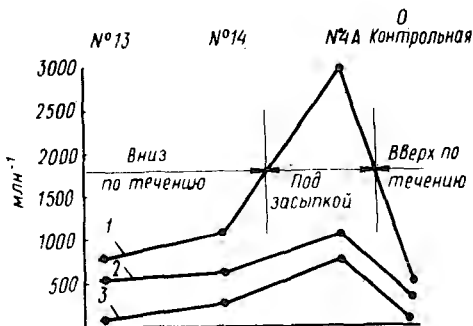


Рис. 8.12. Типичные скважины

а — для контроля глубоких водоносных слоев; б — для контроля поверхностного газа и воды; 1 — земля; 2 — обшивка, залитая глиной, диаметром 15 см; 3 — поверхностное отверстие, уплотненное глиной; 4 — водоносный песок; 5 — экран для отделения мелких частиц; 6 — экран для отделения гравия; 7 — открытая обшивка, диаметром 2,54 см

Рис. 8.13. Изменения характеристик грунтовых вод вблизи от санитарных земляных засыпок

1 — общее количество растворенных твердых веществ; 2 — жесткость (CaCO_3); 3 — содержание хлоридов



Однако если материал покрытия засыпки хорошо уплотнен, увлажнен или заморожен, давление газа повысится и он начнет перемещаться, пока не найдет выход. Поэтому рекомендуется применять устройства для улавливания газа или его вывода в определенных местах.

Для улавливания газа можно применять различные устройства от простого «сухого колодца» до газгольдера. Наиболее точным прибором для анализа является газовый хроматограф. Портативные измерительные приборы используют для грубого обнаружения газа на месте измерения. Эталонные пробы и приборы должны регулярно проверяться прецизионными методами. Следует брать представительные пробы, не ограничиваясь периферийными или поверхностными участками засыпки. Применение скважин для отбора проб или датчиков, как показано на рис. 8.12, является необходимым.

Осадка засыпки и температура. Осадку засыпки рекомендуется контролировать с помощью опорных реперов. Хорошим способом измерения осадки является использование реперов, установленных на участке засыпки и прикрепленных к вертикальной трубе или

Таблица 8.12. Контроль качества грунтовых вод вблизи санитарной засыпки (см. рис. 8.13)

Вид определения ¹	Место отбора проб			
	вверх по течению	под засыпкой	вниз по течению	
	контрольная скважина 0	облицованная испытательная скважина № 4А	облицованная скважина № 15	скважина в точке № 13
Общая жесткость	311	1046	600	530
Щелочность	277	740	433	378
Содержание:				
кальция	95	244	178	141
магния	17	102	37	33
натрия	75	652	165	80
калия	47	40	?	12
хлора	73	773	263	69
серы	74	577	115	189

¹ Результаты определений — в млн.⁻¹.

стержню, выступающему из земли. В качестве реперов можно использовать бетонные или каменные столбы размером 15×15 см, длиной 90 см. При разработке устройств для контроля осадки следует принимать во внимание такие факторы, как возможность повреждения их тяжелыми механизмами, вспучивание грунта от мороза, коррозию. В первый год осадка может составлять до 20% от первоначальной глубины засыпки, в дальнейшем же скорость оседания грунта уменьшается.

Контроль температуры позволяет следить за степенью разложения органических остатков и возможным возникновением очагов пожара на санитарной земляной засыпке. Следует контролировать эрозию поверхностного слоя почвы, если место засыпки предполагается засадить растительностью.

Место захоронения специфических (создающих затруднения) или опасных твердых отходов должно быть зарегистрировано в процессе засыпки.

Затраты на контроль относительно невелики — около 2—5% от общих затрат на работу санитарной земляной засыпки. Эффективность программы контроля зависит от точности планирования и квалификации персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Выбор места для санитарной земляной засыпки

Bevan R. E. *Notes on the Science and Practice of the Controlled Tipping of Refuse*, Institute of Public Cleansing, U. K.

Brunner, Dirk R. and Keller, Daniel J. *Sanitary Landfill Design and Operation*, U. S. EPA.

Department of the Environment, U. K., *Report of The Working Party on Refuse Disposal*.

Fungaroli A. A. *Pollution of Subsurface Waters by Sanitary Landfills*, U. S. EPA.

Howard, Richard D. *Regional Solid Waste Management Plans*, Technical Guidance Centre for Environment Quality, University of Massachusetts.

Hughes G. M., et al. *Hydrogeology of Solid-Waste-Disposal Sites in Northwestern Illinois*, U. S. EPA.

Планирование и расчеты

Brunner, Dirk R., and Keller, Daniel J. *Sanitary Landfill Design and Operation*, U. S. EPA, Cincinnati, Ohio, 1971.

Sorg, Thomas J., and Hickman, H. Lanier. *Sanitary Landfill Facts*, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Bureau of Solid Waste Management, Washington, D.C., 1970.

U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service, *Kenilworth Model Sanitary Landfill*, Interim Report on a Solid Waste Demonstration Project, December, 1967—January, 1969.

U.S. Environmental Protection Agency. *Principals of Sanitary Landfill*, Training Course Manual, Cincinnati, Ohio, April, 1971.

U.S. Environmental Protection Agency. *Training Sanitary Landfill Employees*, Instructor's Manual, National Audio Visual Center. Washington, D.C., 1972.

National Association of Counties. *Citizen Support*, 1970.

Факторы окружающей среды

Fungaroli A. A., and Steiner R. L. «Laboratory Study of the Behavior of a Sanitary Landfill», *J. Water Pollution Control Federation*, 43: 252 (1971).

Fungaroli A. A. *Pollution of Subsurface Water by Sanitary Landfills*, Report SW-12 rg, U.S. Environmental Protection Agency, 1971.

Hughes G. M., et al. *Hydrogeology of Solid Waste Disposal Sites in Northeastern Illinois—A Final Report*, Report (SW-12 d), U.S. EPA, 1971.

Knapp G. L. *Sanitary Landfills; a Bibliography*, U.S. Dept. of the Interior, Office of Water Resources, WRSIC 72-214, 1972.

Quasim S. R., and Berchinal J. C. «Leaching of Pollutant from Refuse Beds», *J. Sanitary Engineering Division, ASCE*, 90: 499 (1970).

Remson I., et al. «Water Movement in an Unsaturated Sanitary Landfill», *J. Sanitary Engineering Division, ASCE*, 94: 307 (1968).

Steiner R. L., and Kantz R. *Sanitary Landfill; a Bibliography*, Public Health Service Publication 1819, Washington, D.C., 1968.

Stone R., and Gupta R. K. «Aerobic and Anaerobic Landfill Stabilization Process», *J. Sanitary Engineering Division, ASCE*, 96: 1399 (1970).

Порядок работы

Abbott. *American Civil Engineering Practice*, Wiley, N.Y., 1956.

Bond R. G., and Straub C. P. *Handbook of Environmental Control*, Volume II, CRC Press, 1973.

Kentucky State Department of Health. *Solid Waste Management Handbook, Sanitary Landfill Operations*, Division of Solid Waste Disposal, 1971.

Ohio Department of Health. *Design and Operating Guidelines for Sanitary Landfills in Ohio*, 1971.

U.S. Environmental Protection Agency. *Sanitary Landfill Design and Operation*, 1972.

Специальные или обработанные отходы

Bowen I. G., and Brealy L. *Incinerator Ash—Criteria of Performance*, Proceedings National Incinerator Conference, 1968, A.S.M.E., N.Y.

Fletcher R. A. *Transfer Terminal Bales 600 Tons of Refuse Daily for Landfill Disposal*, Solid Wastes Management, November, 1973.

Kaiser E. R., et al. *Municipal Incinerator Refuse and Residue*, Proceedings National Incinerator Conference, 1968, A.S.M.E., N.Y.

Midwest Research Institute. *Resource Recovery, Catalogue of Processes*, Council on Environmental Quality, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, February, 1973.

Контроль за работой

Andersen J. R. and Dornbush J. N. «Influence of Sanitary Landfill on Ground Water Quality», *J. American Water Works Assoc.*, 59: 457 (1967).

Cartwright K., and McComas R. «Geophysical Surveys in the Vicinity of Sanitary Landfills in Northeastern Illinois», *Ground Water*, 6: 23 (1968).

Fungaroli A. A. *Pollution of Subsurface Water by Sanitary Landfills*, Vol. 1 Interim Report (SW-12 rg), U.S. EPA, 1971.

Hassen A. A. «Effects of Sanitary Landfills on Quality of Ground Water—General Background and Current Study», Presented at the First Annual Solid Waste Symposium, Los Angeles, Regional Forum of Solid Waste Management, May 25, 1971, Pasadena.

Hughes G. M., Landon R. A., and Farvolden R. N. *Hydrogeology of Solid Waste*

Disposal Sites in Northeastern Illinois—A Final Report, Report (SW-12 d), U.S. EPA, 1971.

Kaufmann R. F. *Hydrogeology of Solid Waste Disposal Sites in Madison, Wisconsin*, Ph.D. Thesis, Univ. of Wisc., 1970.

Merz R. C., and Stone R. «Gas Production in a Sanitary Landfill», *Public Works*, 95: 84 (1964).

Merz R. C. *Special Studies of a Sanitary Landfill*, Final Report to Bureau of Solid Waste Management, Grant No. U100518-08, March, 1969.

Seitz H. R., Wallace A. T., and Williams R. E. «Investigation of a Landfill in Granite-Loess Terrain», *Ground Water*, 10: 35 (1972).

State of California. *First Report on In-Situ Investigation of Movements of Gases Produced from Decomposing Refuse*, State Water Quality Control Board Publ. No. 35, 1967.

State of California. *Report on the Investigation of Leaching of a Sanitary Landfill*, SWPCB Publ. No. 10, 1954.

Warner D. L. Preliminary Field Studies Using Earth Resistivity Measurements for Delineating Zones of Contaminated Ground Water, *Ground Water*, 7: 9, (1969).

Руководство работой

American Public Works Association. *Municipal Refuse Disposal*, Chicago, Public Administration Service, 1970.

Brunner D. R., and D. J. Keller. *Sanitary Landfill Design and Operation*, U.S. Environmental Protection Agency, (SW-65ts), 1972.

«Federal Land Disposal Guidelines—Technical Considerations». Technical Bulletin, National Solid Waste Management Association, Vol. 4 (7), Aug. 1973.

«Refuse Handling Operations Safety Checklist». Technical Bulletin, National Solid Waste Management Association, Vol. 4 (8), Sept. 1973.

Zausner E. R. *An Accounting System for Sanitary Landfill Operations*, Bureau of Solid Waste Management, U.S.P.H.S., (SW 15ts), 1969.

Общая библиография

Sanitary Landfill Conference, Report on a Joint Conference Sponsored by the National Solid Waste Management Association and the EPA, EPA Report SW-5p, Kansas City, Missouri, 1972.

Kirov N. Y., ed. *Solid Waste Treatment and Disposal*. Ann Arbor, Ann Arbor Science, 1972.

Flintoff F., and Millard R. *Public Cleansing*. London, MacLaren and Sons, 1969.

Brunner D. R., and Keller D. J. *Sanitary Landfill Design and Operation*. EPA Report SW-65ts, Washington, D.C., 1972.

Bond R. G., and Straub, C. P. *Handbook of Environmental Control, II*. Cleveland, CRC Press, 1973, pp. 359—394.

Hagerty D. J., Pavoni J. L., and Heir J. E., Jr. *Solid Waste Management*. New York, Van Nostrand Rein-Hold, 1973.

Wilcomb M. J., and Hickman H. L. Jr. *Sanitary Landfill Design, Construction and Evaluation*. EPA Report SW-88 ts, Washington, D.C., 1971.

Baum B., and Parker C. H. *Solid Waste Disposal I: Incineration and Landfill*. Ann Arbor, Ann Arbor, Science University of Michigan, 1972.

Bevan R. E. *Controlled Tipping of Refuse*. London, W. and J. Mackay, 1967.

Municipal Refuse Disposal. APWA. Danville, Illinois, Interstate, 1966.

ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ В МОРЕ

Френк Л. Хини

Общие положения. Прежде всего необходимо уяснить, какое место в ряду существующих способов складирования твердых отходов занимает захоронение их в море, насколько экономичен и удобен этот способ.

Расположенная вблизи предприятий санитарная земляная засыпка является наиболее эффективным способом удаления твердых отходов (затраты на 1 т обычно ниже 4 долл.). Однако срок службы ее относительно невелик (обычно меньше 10 лет), и, кроме того, могут возникать практически непреодолимые проблемы, связанные с загрязнением воздуха или грунтовых вод. Засыпки, удаленные от источника образования твердых отходов, хотя и позволяют уменьшить загрязнения, неэкономичны из-за высоких затрат на транспортировку — около 4,5 долл./т·ч (в ценах 1972 г.).

Следующим по эффективности способом является сжигание мусора. В печах сжигания новых типов образуются отходы, которые являются отличным материалом для складирования, причем получаемое тепло можно использовать для образования пара (обогрев зданий) или получения электроэнергии. Однако этот способ имеет существенные недостатки. Население настроено против этого метода (как и против санитарных земляных засыпок). Остаток от сжигания отходов также может быть источником загрязнения, так как продукты его выщелачивания могут поступать в грунтовые или поверхностные воды. Недавно выпущенные стандарты на контроль за загрязнением воздушной среды сильно увеличили стоимость сжигания мусора.

Твердые отходы раньше размещали в прибрежных зонах, включая зоны осушения болот. Однако этот способ оказался неудовлетворительным: наблюдалось почти катастрофическое загрязнение районов нереста и зон обитания устриц. Эти и другие экологические факторы вызвали необходимость запрещения такой практики удаления отходов.

Так как многие большие города и столица США расположены на побережье или вблизи него, то для захоронения определенных типов отходов можно использовать океан. Такой способ размещения твердых отходов должен отвечать следующим требованиям:

1) портовые средства должны эффективно обрабатывать большое количество грузовых автомашин, а также обеспечивать погрузку крупных барж; для хранения материалов, уменьшения их размера путем размалывания и брикетирования следует использовать производительное оборудование и рациональные методы;

2) транспортировка уплотненных отходов через прибрежные воды должна выполняться безопасным способом: отходы не долж-

ны попадать в море даже во время штормов;

3) для размещения отходов в море необходимо использовать отведенные зоны; брикеты должны погружаться на дно, не разламываясь и не всплывая; нужно сфотографировать места расположения отходов и зарегистрировать дату и время осуществления операции; должен быть обеспечен непрерывный контроль зон захоронения.

Затраты на размещение в море, если придерживаться указанных выше критериев, составляют 10—20 долл/т (1975 г.), что значительно дороже, чем санитарная земляная засыпка, но дешевле, чем сжигание в печах.

Попытки захоронения отходов в столичной зоне на восточном побережье встретили значительное, но не неожиданное сопротивление. Доковые устройства и транспорт через воду бухты попадают под юрисдикцию штата, но на основании акта об отходах 1899 г. за обозначение мест захоронения в глубоких водах океана отвечает Инженерный корпус армии США. Не приняты и международные законы о захоронении отходов в море, хотя этот вопрос уже обсуждался.

По вопросу размещения твердых отходов в море можно сделать следующие замечания.

1. В настоящее время нет специальных руководств, требований или стандартов по захоронению твердых отходов в море. Руководство 1972 г. объявило мораторий на разработку основной программы и систем контроля.

2. Очевидно, районы захоронения будут находиться вне континентального шельфа на расстоянии не менее 40 км от берега.

3. В море можно сбрасывать лишь инертные материалы, относительная плотность которых выше, чем морской воды (на глубине 1800 м она составляет примерно 40 кг/м³). Все другие твердые отходы, содержащие органические материалы, необходимо упаковать и уложить в контейнеры, доставить в отведенное место и погрузить в воду с применением способов, обеспечивающих охрану окружающей среды.

Океан как место захоронения отходов. Длительное время океан был местом захоронения твердых отходов больших городов, расположенных на побережье. Шламы канализации, кислотные и промышленные отходы и взрывчатые вещества сбрасывались и продолжают сбрасываться в море в отведенных для этого местах (табл. 9.1—9.5, рис. 9.1—9.3). Инженерный корпус армии США несет ответственность за отвалы землечерпалок; морская транспортировка промышленных твердых отходов должна соответствовать правилам береговой охраны США; радиоактивные отходы следует размещать под контролем комиссии по атомной энергии. Дополнительные ограничения могут накладываться законами штатов и указаниями Агентства охраны окружающей среды.

Однако в связи с проблемами экологии моря и прибрежной зоны, а также благодаря возросшей активности населения практика этих работ подвергается резкой критике. Представители федераль-

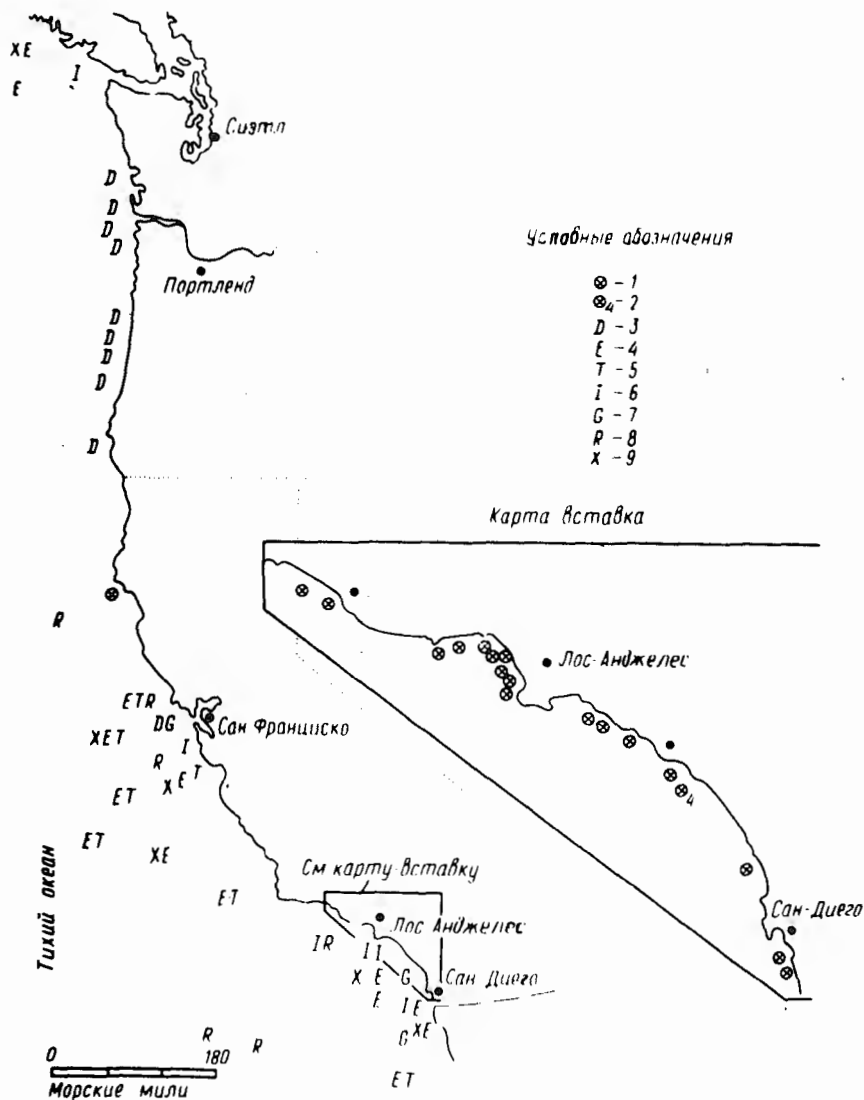


Рис. 9.1. Зоны расположения твердых отходов и искусственные подводные рифы у побережья Тихого океана

1 — один искусственный риф; 2 — несколько рифов; 3 — отвалы драги; 4 — взрывчатые вещества; 5 — токсичные химические вещества; 6 — промышленные химические вещества; 7 — твердые отходы; 8 — радиоактивные отходы; 9 — свободные места

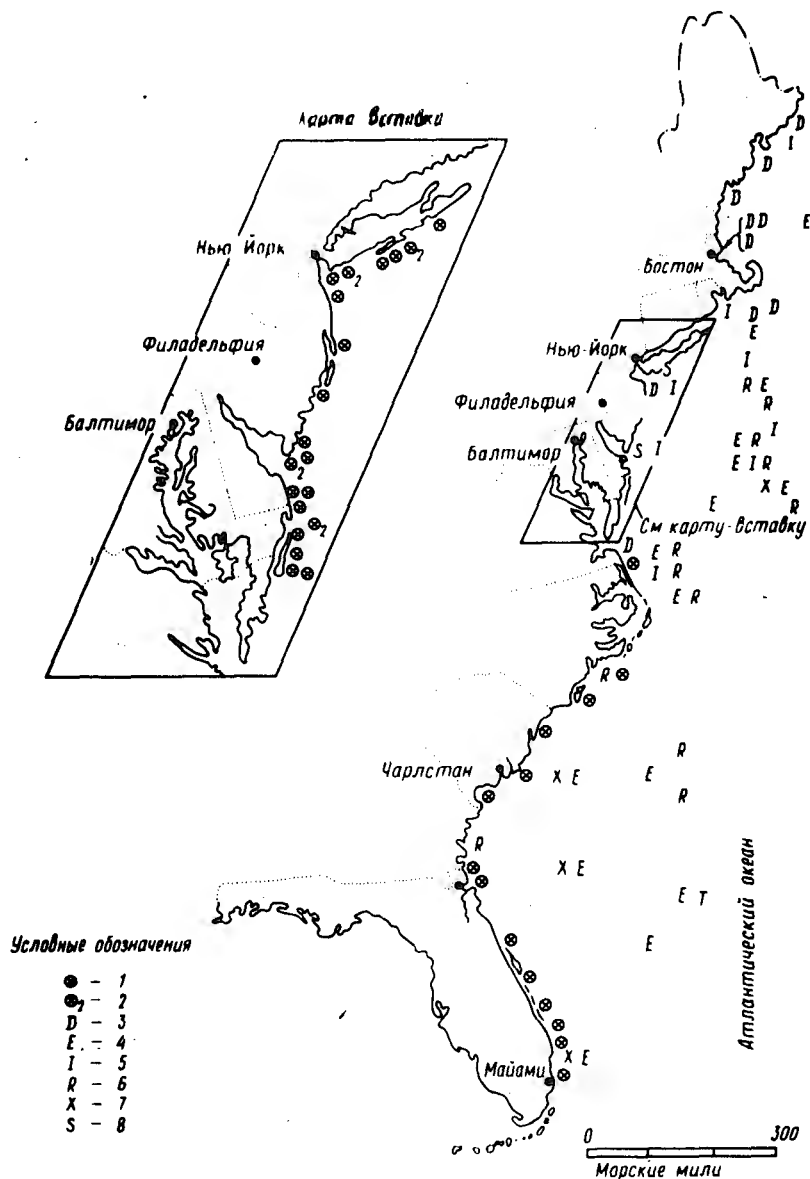


Рис. 9.2. Зоны расположения твердых отходов и искусственные подводные рифы у побережья Атлантического океана

1 — один искусственный риф; 2 — несколько рифов; 3 — отвалы драги; 4 — взрывчатые вещества; 5 — промышленные химические вещества; 6 — радиоактивные твердые отходы; 7 — свободные места; 8 — шламы канализации

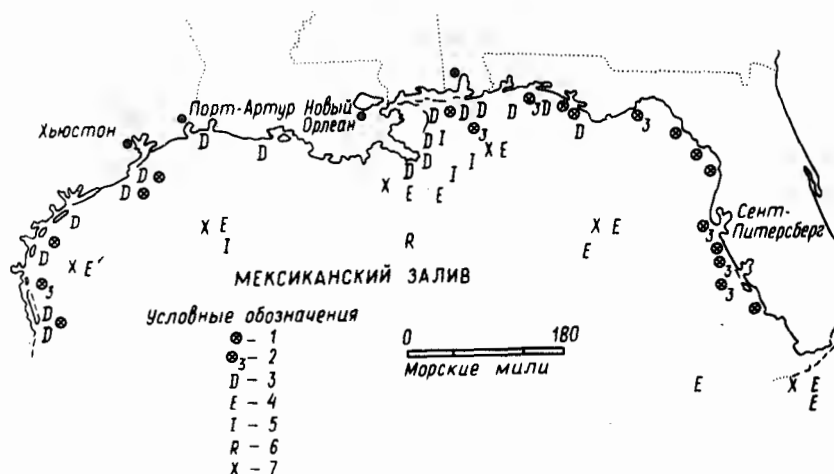


Рис. 9.3. Зоны расположения твердых отходов и искусственные подводные рифы в Мексиканском заливе

1 — один искусственный риф; 2 — несколько рифов; 3 — отвалы драги; 4 — взрывчатые вещества; 5 — промышленные химические вещества; 6 — радиоактивные отходы; 7 — свободные места

ной администрации и администрации штатов ожидают результатов проводимых в настоящее время исследований, и очень вероятно, что районы захоронения отходов будут находиться вне континентального шельфа.

По мере увеличения глубины происходит постепенное уменьшение жизненной активности: температура при глубине 1800 м везде одинакова — около 4°C, давление превышает 17 000 кПа.

Таблица 9.1. Число морских зон, использованных для захоронения твердых отходов

Вид отходов	Тихий океан	Атлантический океан	Залив	Итого
Отвал драги	10	11	17	38
Промышленные отходы	7	9	6	22
Шлам канализации		2		2
Твердые отходы	3			3
Радиоактивные отходы	6	11	1	18
Взрывчатые отходы	14	16	10	40
Итого	40	49	34	123

Морские животные, закрепляющиеся на дне, являются почти единственными существами, получающими пищу в процессе фильтрации воды. Среди живых организмов они занимают нижнюю ступень, поэтому имеют жизненно важное значение, особенно если рассматривать долговременные факторы. Необходимо быть уверенным, что сбрасывание отходов в океан не вызовет неблагоприятных воздействий на его экологические факторы. До сих пор мы не знаем результатов краткосрочного или долгосрочного воздействия на окружающую среду способа захоронения отходов на больших глубинах.

Обсуждения с биологами, работающими в области охраны морской среды, открыли некоторые интересные аспекты захоронения твердых отходов. Подводная лодка «Алвин» затонула несколько лет назад на глубине около 1350 м. Когда ее через год подняли на поверхность, то обнаружили, что яблоко и бутерброд с копченой колбасой не испортились. Это наводит на мысль, что бактерии, существующие при указанных температурах и давлениях, не перерабатывают нашу пищу. Ожидается, что бактерии, образующие метан в

Таблица 9.2. Объем промышленных твердых отходов, захороненных в водах США (1968 г.)

Вид отходов	Доля от общего количества промышленных отходов, %	
	Масса	Затраты
Отходы кислот	58	59
Твердые отходы:		
сахарных заводов	12	7
пестицидов	7	15
целлюлозно-бумажных заводов	3	7
Другие отходы	20	12

Объем захороненных отходов, тыс. т/год

Нью-Йорк	2700
Лос-Анджелес	660
Хьюстон—Галвестон—Бьюмонт и т. д.	320
Новый Орлеан	300
Филадельфия	290
Сан-Франциско	200
Сиэтл	120
Норфолк	60
Мобил	12

Т а б л и ц а 9.3. Стоимость операций по транспортировке и размещению отходов, осуществленных Военно-Морским Флотом США 1964—1968 гг.

Показатель	Номер				
	1	2	3	4	5
Общая грузо-подъемность ко-рабля, т	9799	7535	4040	8715	7500
Масса взрывчатых веществ, т	Неизвестен		512,19	408	1625
Место размеще-ния ¹	Тихоокеан-ское побе-режье, 37°40' с. ш., 123°25' з. д.	Атлантиче-ское побе-режье, 38°49' с. ш., 72°14' з. д.	Атлантиче-ское побе-режье, 37°12' с. ш., 74°21' з. д.	Атлантиче-ское побе-режье, 37°11' с. ш., 74°26' з. д.	Тихоокеан-ское побе-режье, 39°33' с. ш., 125°46' з. д.
Стоимость подго-товки корпуса ко-рабля, долл.	7 949	3 608	5 991	2 235	50 156
Стоимость букси-ровки, долл. ²	5 000	1 000	990	1 075	0 (военная транспор-тировка)
Стоимость погруз-ки, долл.	102 021	158 235	132 979	179 112	91 859
Общая стоимость, долл.	114 970	162 843	139 959	181 422	142 015
Стоимость обра-ботки 1 т твердых отходов, долл.	12	21	34	20	19

¹ Расстояние, на которое проводилась буксировка, превышает расстояние до

² Включает стоимость буксировки от резервного флота до верфи и далее до

твердых отходов, будут продолжать свою деятельность, но в сильно ограниченной степени. Лабораторная работа с образцами твердых отходов в настоящее время выполняется в Океанографическом институте Вудса Хола.

Океан является богатством, которое должно использоваться, но при этом не должны нарушаться экологические условия морской среды. Перед тем как приступить к созданию программы использо-вания океана для размещения отходов, необходимо выполнить ряд исследований.

операции					
6	7	8	9	10	11
6600	6033	9004	833	7763	7437
2327					
Тихоокеан- ское побе- режье, 51°21' с. ш., 171° з. д.	Атлантиче- ский океан, 36°34' с. ш., 74°16' з. д.	Атлантиче- ский океан, 39°37' с. ш., 70°57' з. д.	Атлантиче- ский океан, 31°40' с. ш., 75°56' з. д.	Атлантиче- ский океан, 39°38' с. ш., 71°02' з. д.	Атлантиче- ский океан, 39°33' с. ш., 71°02' з. д.
64 350	12 566	32 390	15 482	31 953	35 263
39 000	1 000	6 850	15 000	8 131	6 802
91 000	90 050	90 050	46 000	77 630	74 435
155 350	146 006	129 290	76 482	117 714	117 435
23	24	14	92	15	16

места захоронения отходов.

места погрузки и затем до места захоронения отходов.

Системный анализ. Разработка правильного подхода к проблеме, или системный анализ, влечет за собой значительные затраты. По линии общественной деятельности работы были осуществлены Агентством охраны окружающей среды, Бюро управления твердыми отходами, которые финансировали контракт на исследование с корпорацией «Дилингэм» (по теме «Размещение твердых отходов и промышленных шламов от прибрежных городов США в океане») и субсидировали исследования по государственному заказу в Гарвардском институте здравоохранения (по теме «Системный анализ

Таблица 9.4. Ориентировочные затраты на захоронение твердых отходов в водах Тихого и Атлантического океанов и Мексиканского залива (1968 г.)

Виды отходов	Тихоокеанское побережье		Атлантическое побережье		Побережье Мексиканского залива		Итого		Доля от всего количества, %	
	Масса, т	Затраты, долл.	Масса, т	Затраты, долл.	Масса, т	Затраты, долл.	Масса, т	Затраты, долл.	Масса	Затраты
Отвалы породы	7 320 000	3 175 000	15 808 000 *	8 608 000	15 300 000	3 800 000	38 428 000	15 583 000	80	53
Промышленные отходы	981 000	991 000	3 011 000	5 406 000	690 000	1 592 000	4 682 000	7 989 000	10	27
Бытовые отходы	26 000	392 000					26 000	392 000	1	1
Отходы в контейнерах	300	16 000	2 200	17 000	6 000	171 000	8 500	204 000	1	1
Шламы **			4 477 000	4 433 000			4 477 000	4 433 000	9	15
Строительный мусор			574 000	430 000			574 000	430 000	1	2
Взрывчатые вещества			15 000	235 000			15 000	235 000	1	1
Всего твердых отходов ***	8 327 500	4 577 000	23 887 400	19 129 000	15 996 000	5 563 000	48 210 000	29 269 000	100	100

* С учетом 200 000 т летучей золы.

** С учетом влаги.

*** Без учета радиоактивных отходов.

**Таблица 9.5. Общее количество радиоактивных отходов,
захороненных в водах США (1946—1967 гг.)**

Зона захоронения	Число контейнеров	Радио-активность продуктов, Ки	Масса радио-активных материалов, кг
Тихий океан	52 538	14 708	
Атлантический океан	33 998	79 484	852
Мексиканский залив	1	10	
Итого	86 537	94 202	852

морских перевозок городских отходов от печей сжигания мусора»). Департамент внутренних дел США, Бюро спортивного рыболовства и охоты на диких животных совместно с Агентством охраны окружающей среды обеспечили выпуск доклада «Исследование возможности использования изношенных шин для создания искусственных рифов». Национальный Совет по морским ресурсам и инженерным разработкам (исполнительный секретариат президента) подготовил отчет «Экономические аспекты захоронения твердых отходов в море», который составили проф. Деванней и господа Ливанос и Пателл из Массачусетского технологического института.

По линии частной деятельности одной из первых выполнила системный анализ фирма «Сидан». Запатентованный способ захоронения твердых отходов в океане (патент США № 3330088) устанавливает рациональный порядок захоронения отходов. Исследования по осуществимости проекта выполнялись фирмой «Кэмп Дрессер и МакКи». Последующие патенты были предназначены для фирм «Сидан» и «Тезука». Способ, разработанный фирмой «Сидан», предложен отделам стандартизации штатов и Федеральному управлению и в настоящее время исследуется по контракту с Океанографическим институтом Вудса Хола. Совет по рыболовству и охране морской среды готовит окончательную программу и договаривается о соответствующих строительных работах. Известны и другие системы, которые находятся в стадии разработки. В табл. 9.6 приведены данные, характеризующие результаты исследования трубопровода для захоронения отходов в океане.

Способ захоронения, предложенный фирмой «Сидан» (рис. 9.4), предусматривает непосредственное удаление твердых отходов от большого района столицы или, если это экономически невыгодно, через перевалочные станции.

После взвешивания материал через воронку подается в мельницы или молотковые дробилки. Затем измельченные отходы сортируют для выделения ценных компонентов. Оставшуюся часть твердых отходов транспортируют с помощью механического конвейера.

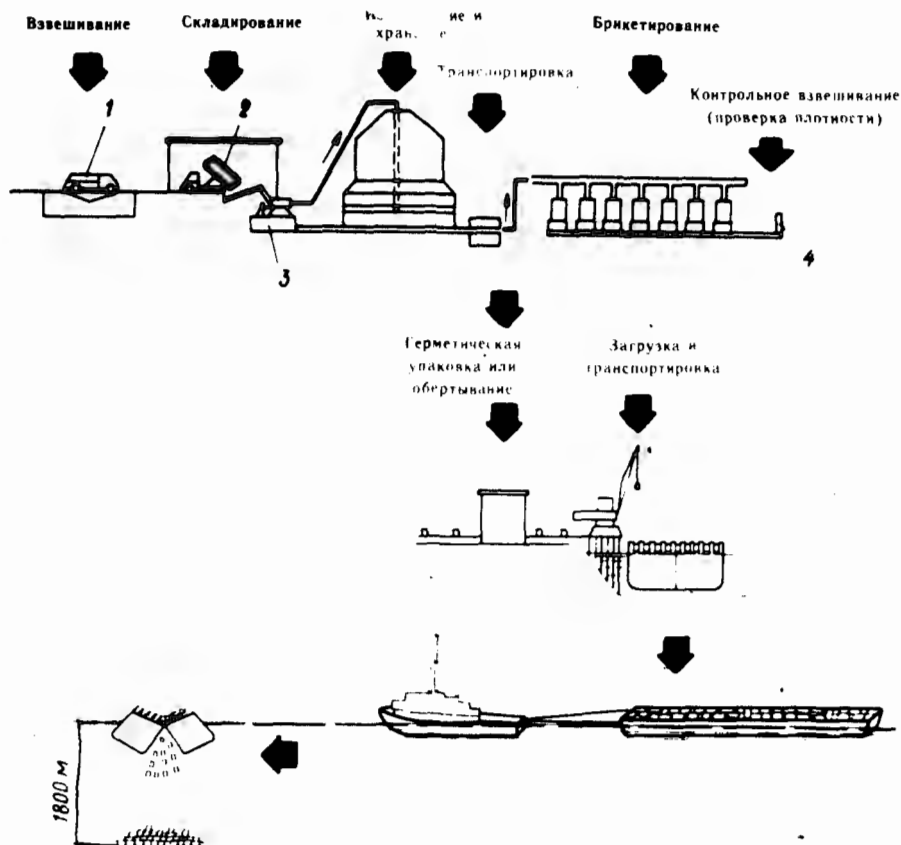


Рис. 9.4. Схема удаления отходов в море

1 — весы с платформой для определения массы отходов; 2 — гидравлический опрокидыватель; 3 — молотковая дробилка; 4 — конвейерные весы

Производительность молотковых дробилок очень высока (125 т/ч). Так как материал собирается, как правило, в часы пик, то часть твердых отходов необходимо хранить в измельченном или необработанном виде. Это позволяет обеспечить равномерную подачу материала для брикетирования. Готовые брикеты обертывают пластиком, а затем укладывают в большую баржу с открывающимся дном [емкостью такой баржи 5000 т и стоимостью (1972 г.) немногим более 1 млн. долл.]. Далее баржи транспортируются к месту захоронения отходов вне континентального шельфа и брикеты затопляются на глубине свыше 1800 м.

Возможность захоронения в пределах континентального шельфа. При захоронении в пределах континентального шельфа возрастает возможность загрязнения океана, однако правильно размещенные

Таблица 9.6. Предварительные данные об объеме и составе твердых отходов, удаленных с помощью океанского трубопровода в районе Филадельфии

Вид отходов	Объем потока, млн. л/сут	Содержание, % от общего объема	Содержание твердых веществ, %
Отвалы породы (мелкая глина с незначительным количеством органических веществ)	47,3	78	14
Шламы канализации (органические вещества — целлюлоза, протеины, жиры, неорганические — SiO_2 , Fe_2O_3 , NH_4NO_3 , PO_4^{3-} , K^+)	6,1	10	3
Отходы солей, кислот и химических веществ (HCl , H_2SO_4 , FeCl_3), смешанные органические кислоты, соли, другие химические вещества, фильтрующие средства и шламы химических производств	6,1	10	3
Зола	1,1	2	3
Итого	60,6	100	10,8 (среднее)

брикеты из отходов могут обеспечить образование искусственных рифов, которые необходимы для существования рыб. Однако в настоящее время преждевременно принимать какие-либо решения о таком захоронении отходов. Ранее упоминавшийся мораторий распространяется на сбрасывание не только на континентальном шельфе, но и на больших глубинах. Интересно, что расстояние от Бостона (шт. Массачусетс) к ближайшему месту захоронения вне континентального шельфа около 370 км. Другие крупные центры находятся от шельфа еще ближе — примерно в 160 км.

Экономические факторы. Ниже приведены капитальные и эксплуатационные затраты на захоронение в море 10 тыс. т/неделю (2000 т/сут) типичных твердых отходов. Эти данные сопоставимы с затратами по захоронению в море промышленных отходов, приведенными в табл. 9.7.

Капитальные затраты, тыс. долл. (1972 г.)

Подготовка места, включая допустимые затраты в 2 млн. долл. на приобретение места	2000
Здания, помещения для весов, приемки и обертывания	500
Молотковые дробилки (три установки)	1500
Бункера, загрузочное устройство	650
Оборудование для изготовления брикетов (7 установок)	1150
Конвейеры	1000

Таблица 9.7. Средние и предельные затраты на захоронение 1 т отходов в прибрежных водах США (1968 г.)

Вид отходов	Всего		Тихоокеанское побережье		Атлантическое побережье		Побережье Мексиканского залива	
	средние затраты, долл./т	предельные затраты, долл./т	средние затраты, долл./т	предельные затраты, долл./т	средние затраты, долл./т	предельные затраты, долл./т	средние затраты, долл./т	предельные затраты, долл./т
Отвалы породы	0,4	0,2—0,55	0,43	Нет	0,54	0,4—0,55	0,25	0,2 —0,25
Промышленные отходы навалом	1,7	0,6—9,5	1	0,6—9,5	1,8	0,6—7	2,3	0,75—3,5
В контейнерах	24	5—130	53	50—130	7,73	5—17	28	10—40
Бытовые отходы	15	5—60	15	5—60				
Шлам очистки	1	0,8—1,2			1	0,8—1,2		
Строительные отходы	0,75	0,7—1,35			0,75	0,7—1,35		
Взрывчатые вещества	15	15—90						
Разные отходы	15	5—600	15	5—600				

Мостовой кран	250
Оборудование для обертывания брикетов	100
Вспомогательные устройства	250
Общие капитальные затраты	8200

Годовые эксплуатационные затраты, тыс. долл. [1972 г.]

Оплата труда 22 рабочих (10 чел. в первой смене, 8 чел. во второй смене, 4 чел. в третьей смене)	350
Топливо, вода, электроэнергия	120
Обслуживание и ремонт	200
Общие затраты на наземные операции	670
Морская транспортировка с использованием специальных барж для затопления и буксирных кораблей:	
общие затраты на морские операции	2500
общие эксплуатационные затраты	3170
амортизация капитальных затрат в расчете на 10 лет при 10% годовых	1330
общие затраты	4500

При работе 52 нед., захоронении 10 000 т/нед, или 520 000 т/год издержки производства на 1 т составили около 8,65 долл. (в ценах 1972 г.). Это значительно ниже, чем издержки производства при использовании печей для сжигания мусора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Background papers on coastal-wastes management, vol. 1, Committee on Oceanography, National Academy of Sciences, and Committee on Ocean Engineering, National Academy of Engineering, July 1969.
2. Bassi D. E. and D. R. Basco. «Field study of an unconfined spoil-disposal area of the Gulf intracoastal waterway in Galveston Bay, Texas, College Station: Texas A & M University, sea grant program, 1974.
3. Devanney, John W., III, V. Livanos, and J. Patell. «Economic aspects of solid-waste disposal at sea», Cambridge: M.I.T., sea grant project, 1970.
4. Feld, Sidney and Niels Rorholm. «Economic growth and the generation of waterborne wastes», Kingston: University of Rhode Island, sea grant program, 1973.
5. Joint group of experts on the scientific aspects of marine pollution, report on the fifth session of the IMCO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN joint group of experts on the scientific aspects of marine pollution (GESAMP) held at IAEA headquarters, Vienna, 18—23 June 1973. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1973.
6. Loder, Theodore C., Franz E. Anderson, and Thomas C. Shevenell, «Sea monitoring of emplaced baled solid waste», Durham: University of New Hampshire, Department of Earth Sciences, 1973.
7. Maurer, Don, Robert Biggs, and Wayne Leathem. «Effect of spoil disposal on benthic communities near the mouth of Delaware Bay», Newark: University of Delaware, sea grant program, 1974.
8. Pratt S. D., S. B. Saila, and A. G. Gaines, Jr. «Biological effects of ocean disposal of solid waste», Kingston: University of Rhode Island, Graduate School of Oceanography, 1973.

9. Steering committee on coastal-wastes management, Wastes-management concepts for the coastal zone: requirements for research and investigation. Washington: National Academy of Sciences, 1970.

10. U.S. Congress House, Committee on merchant marine and fisheries. Subcommittee on fisheries and wildlife conservation and the environment, Ocean dumping; hearings before the subcommittee June 5, 1973, Washington: U.S. Government Printing Office, 1973.

11. U.S. Council on Environmental Quality, Ocean dumping: a national policy: a report to the president, Washington, U.S. Government Printing Office, 1970.

12. Shih H. H. «A literature survey of ocean pollution», Washington: Catholic University of America, Institute of Ocean Science and Engineering, 1971.

13. Sinha, Evelyn. «Coastal/estuarine pollution, an annotated bibliography», LaJolla: Ocean Engineering Information Service.

14. Smith, David D. and Robert P. Brown. «An inventory of marine disposal of solid wastes», in proceedings of the National Solid Wastes Management Conference, University of Houston and Bureau of Solid Waste Management; P.H.S., March 24—26, 1970.

Предисловие к русскому изданию	5
Предисловие	6
Глава 1. История проблемы обработки твердых отходов (Давид Г. Вилсон)	7
Список литературы	14
Глава 2. Свойства бытовых и промышленных твердых отходов (Уолтер Р. Ниссен)	15
2.1. Введение	15
2.2. Состав отходов	18
2.2.1. Городские отходы (20). — 2.2.2. Коммерческие и учрежденческие отходы (31). — 2.2.3. Промышленные отходы (32).	
2.3. Свойства отходов	42
2.3.1. Химический состав (42). 2.3.2. Характеристики плотности (53). — 2.3.3. Сгорание (65)	
Список литературы	76
Глава 3. Техника безопасности при переработке твердых отходов (Давид Г. Вилсон)	84
3.1. Первичные опасности, вызываемые твердыми отходами	89
3.2. Воздушный перенос патогенных веществ	90
3.3. Асбестовая пыль	91
3.4. Радиоактивные отходы	98
3.5. Опасные промышленные отходы	102
3.5.1. Неорганические материалы (122). — 3.5.2. Органические материалы (122)	
3.6. Заболеваемость и травматизм среди рабочих, занятых уборкой территорий	123
3.7. Вторичные опасности, вызываемые твердыми отходами	126
3.7.1. Опасности для здоровья людей (127). — 3.7.2. Пожары и взрывы (129). — 3.7.3. Образование газа (130). — 3.7.4. Выщелачивание отходов (130)	
3.8. Места, опасные при работе с твердыми отходами	130
3.9. Опасности, возникающие при удобрении почв канализационными отходами и сбросе их в землю	134
3.10. Опасности, связанные с захоронением твердых отходов в море	135
Список литературы	136
Глава 4. Сбор, транспортировка и механическая обработка твердых отходов	137
4.1. Сбор отходов (Ральф Стоун)	137
4.1.1. Типы твердых отходов (137). — 4.1.2. Хранение отходов (140). — 4.1.3. Параметры системы сбора (144). — 4.1.4. Обработка твердых отходов (156). — 4.1.5. Перевозка отходов на большие расстояния (157). — 4.1.6. Уборка улиц (157)	
Список литературы	160
4.2. Транспортировка твердых отходов по трубопроводам (Айрадж Зенди)	161
4.2.1. Возможность транспортировки твердых отходов с помощью пневматической системы с использованием пульпы (163). — 4.2.2. Пневматическая система сбора и удаление отходов (163)	
4.2.3. Транспортировка пульпы (166). — 4.2.4. Сопоставление экономических показателей системы пневмотранспортировки пульпы и ныне действующей системы сбора и удаления отходов с использованием автотранспортных средств (168)	
4.3. Механическая обработка отходов (В. Дж. Джонсон)	175
4.3.1. Системы для транспортировки отходов (176). — 4.3.2. Системы разгрузки отходов (178). — 4.3.3. Области исследований и перспективы (180)	

	Стр.
Глава 5. Процессы механической обработки: брикетирование и измельчение	180
5.1. Уплотнение высоким давлением и брикетирование твердых отходов (К. Вольф и Х. Сосновски)	180
5.1.1. Основные положения (180). — 5.1.2. Экспериментальные данные (183) — 5.1.3. Применение метода уплотнения в существующих системах удаления твердых отходов (193)	
Список литературы	196
5.2. Измельчение твердых отходов (В. Дж. Джонсон)	197
5.2.1. Типы дробилок (199). — 5.2.2. Экономическое обоснование (202). — 5.2.3. Санитарная земляная засыпка (212)	
Глава 6. Термическая обработка твердых отходов (Адел Ф. Сарофим)	214
6.1. Сжигание твердых отходов	214
6.1.1. Характеристики горения твердых отходов (215). — 6.1.2. Конструкции установок для сжигания отходов (224). — 6.1.3. Контроль загрязнения воздуха (240). — 6.1.4. Выделение тепла и производство энергии (248). — 6.1.5. Затраты на сжигание отходов (252)	
6.2. Новые разработки процессов термической ликвидации отходов	255
6.2.1. Установки для пиролиза (255). — 6.2.2. Установки для сжигания отходов с выпуском шлака (257) — 6.2.3. Сжигание во взвешенном слое (258)	
Список литературы	258
Глава 7. Компостирование отходов (Кларенс Г. Голуэк)	260
7.1. Основные принципы	260
7.2. Микробиология	262
7.3. Субстрат (питательное вещество)	264
7.4. Факторы контроля скорости процесса	266
7.5. Процесс образования компоста	270
7.6. Технологическое оснащение	275
7.7. Санитарно-гигиенические аспекты	283
7.8. Использование продукта: природа и значение изготовленного компоста	285
7.9. Потенциальные возможности образования компоста	288
Список литературы	289
Глава 8. Санитарная земляная засыпка отходов (Ральф Стоун)	292
8.1. Выбор места	292
8.2. Проектирование и схема места засыпки отходов	293
8.3. Окружающая среда	304
8.4. Подготовка общественного мнения	311
8.5. Порядок работы на санитарной земляной засыпке	312
8.6. Засыпка специальных или обработанных отходов	314
8.7. Контроль за санитарными земляными засыпками	316
Список литературы	319
Глава 9. Захоронение отходов в море (Френк Л. Хини)	322
Список литературы	335