

Общие сведения об отходах

1.1. Определение

Отходы являются следствием процесса природопользования, создающего материальную базу для нормального воспроизводства и интеллектуально-духовного развития человечества в течение неопределенно долгого времени на базе ограниченных природных ресурсов, без деградации окружающей среды. Для удовлетворения потребностей людей ежегодно извлекается до 30 млрд т полезных ископаемых, перемещается 100-150 млрд т земных недр. При последующей переработке значительная часть ископаемых не входит в конечные товарные продукты, образуя отходы. Это создает проблемы их складирования, захоронения, защиты окружающей среды и т.п. Так, товарная медь, полученная из руд с обычным ее содержанием 1,0-1,5%, составляет порядка 0,1% от перемещенной для ее производства горной массы. В 1000 раз большее количество материалов переходит в отвалы горно-обогатительных и металлургических предприятий, выбрасывается в атмосферу в виде оксидов серы и других газов. При переработке золотосодержащих руд с концентрацией золота 5 г/т отходы производства превышают массу товарного продукта в несколько сотен тысяч и даже в миллионы раз. Однако и готовые изделия (автомобили, станки, шины, печи, бытовая техника, мебель и т.д.) через определенное время вырабатывают свой ресурс или снимаются с хранения в связи с истечением его сроков, т.е. превращаются в отходы. В них переводится также потребляемое или с просроченным сроком годности продовольствие. Можно констатировать, что в своей материальной деятельности человечество не производит практически ничего, кроме текущих и будущих отходов, ими неизбежно заканчивается жизненный цикл любых материальных объектов, включая живое вещество.

Важно отметить, что, несмотря на частое употребление, понятие «отходы» трактуется неоднозначно, неполно и нечетко.

В Западной Европе с 1988 г. отходами считают вещества, растворы, смеси или другие предметы, для которых не находят прямого применения, но которые можно подвергнуть переработке, сбрасыванию на свалки, сжиганию или уничтожению и удалению другими способами (Печеникова...).

Это определение содержит логическую ошибку «скачок в делении». Из курсов логики известно, что деление понятия должно быть непре-

рывным, т.е. члены деления следует иметь однопорядковыми и ближайшими по отношению к делимому понятию видами. Если же в одном ряду с видами первого порядка называют виды иных порядков, то возникает упомянутая ошибка. Неверно, например, делить леса на лиственные, еловые, пихтовые и другие, поскольку лиственные деревья — это вид первого порядка, а ель и пихта — виды второго порядка (первый порядок здесь — хвойные деревья) по отношению к понятию «леса» (Гетманова).

В рассматриваемом определении понятия «отходы» скачок в делении обусловлен тем, что на одном уровне деления расположены вещества (один из видов материальной субстанции, включающей и энергию), а также растворы, смеси и другие примеси, являющиеся видами вещества. Для устранения скачка в делении из определения следует исключить понятия «растворы, смеси и другие примеси».

Недавно появилось понятие отходов, данное Федеральным законом Российской Федерации (Об отходах...). В соответствии с последним, «отходы производств и потребления (далее — отходы) — остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства». Однако и оно содержит логическую ошибку (деление с «неполными членами»). Как известно, необходимо соблюдать соразмерность деления, т.е. объем делимого понятия должен быть равен сумме объемов членов деления. Требуется также, чтобы ни один из членов деления не был пропущен. Такую ошибку содержит, например, деление людей по образовательному уровню на имеющих начальное, среднее и высшее образование, так как пропущены те, у кого нет никакого образования. Во избежание ошибки деления с неполными членами при большом числе членов деления используют выражения «и др.», «и т.д.», «и т.п.».

Ошибка неполного деления понятия «отходы» в законе РФ состоит в том, что в нем не перечислены все возможные группы веществ, к ним принадлежащие. Действительно, к отходам отнесены: 1) некондиционные, т.е. не отвечающие необходимым требованиям (размер, количество и т.п.) *остатки* сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе производства или потребления; 2) товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства. Однако очевидно, что к отходам принадлежат также продукты производства, которые образованы в нем попутно с товарной продукцией, не являются его конечной целью (*нецелевые продукты*), но при наличии определенных условий (экономических, экологических, социальных и др.) возможно их использование в качестве сырья, материалов, полуфабрикатов в данном и/или других производствах. В качестве примера ука-

жем, что в первом из рассматриваемых здесь случаев к отходам можно отнести остатки пряжи, металлическую обрезь, во втором — отработавшие ресурс или морально устаревшие машины и оборудование, продовольствие с истекшим сроком хранения. К нецелевым продуктам принадлежат шлаки, пыли, шламы, осадки сточных вод, отвалы породы, хвосты обогащения, отходящие газы, их тепловой ресурс и т.д.

Из изложенного следует, что отходы производства могут быть остатками сырья, материалов, полуфабрикатов, но не остатками «иных изделий и продуктов», как утверждает в законе. Скорее речь должна идти об «останках» товарной продукции, полностью или частично утратившей свои потребительские свойства в процессе использования или хранения. Тем более остатками не являются нецелевые продукты производства. По массе они зачастую превосходят товарную продукцию в сотни, тысячи и более раз. Неучет целевых продуктов производства в качестве одного из видов отходов приводит к еще одной логической ошибке рассматриваемого закона РФ — ошибке слишком узкого определения, когда объем определяющего понятия меньше объема определяемого.

Таким образом, понятие отходов, если исключить очевидные логические неточности в законе РФ, можно свести к следующему: «отходы производства и потребления (далее — отходы) — некондиционные остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе производства и потребления товарной продукции, или товарная продукция, полностью или частично утратившая свои потребительские свойства в процессе использования или хранения, или нецелевые продукты производства, образованные попутно с товарной продукцией, которые при наличии определенных социально-эколого-экономических условий могут быть использованы в качестве сырья, материалов, полуфабрикатов».

В некоторых случаях из понятия отходы вычлняют *отбросы* и *мусор*. К первым относят отходы производства и потребления, применение которых в народном хозяйстве в настоящее время невозможно или экономически нецелесообразно. К мусору причисляют смесь твердых бытовых и строительных отбросов случайного состава.

В последние годы увеличился выход опасных отходов. К сожалению, формулировка и этого понятия, содержащаяся в Федеральном законе РФ, не приемлема. Закон гласит, что «опасные отходы — отходы, которые содержат вредные вещества, обладающие опасными свойствами (токсичностью, взрывоопасностью, пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержащие возбудителей инфекционных болезней, либо которые могут представлять непосред-

венную или потенциальную опасность для окружающей природной среды и здоровья человека самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами».

Очевидно, что данное определение алогично. Оно содержит распространенную логическую ошибку («круг в определении»), когда определяемое и определяющее понятия буквально повторяют друг друга в отличительных признаках (например, масло — это то, что масляное). Действительно, по мнению законодателей, опасные отходы содержат вещества, обладающие *опасными* свойствами либо могущие представлять непосредственную или потенциальную *опасность*. Автор придерживается логически выверенного определения: «опасные отходы — отходы, содержащие вещества, обладающие специфическими свойствами (токсичность, инфекционность, взрывчатость, пожароопасность и др.), превращающимися эти вещества при определенных их количествах, концентрациях и формах существования в непосредственную или потенциальную угрозу жизни и здоровью людей или окружающей среде самостоятельно или при вступлении в контакт с другими веществами».

К опасным относят прежде всего неиспользованные ядохимикаты и лекарственные вещества с просроченным сроком годности, отходы, содержащие канцерогенные, мутагенные, тератогенные вещества и др. Особую проблему представляют радиоактивные отходы, являющиеся обычно предметом специального рассмотрения.

В США 41% отходов классифицируют как особо опасные, в Венгрии — 33,5%, однако во Франции и Великобритании они составляют 3-6%, в Италии и Японии — только 0,3%. В России их масса достигает 5%.

1.2. Классификация и группы опасности отходов

1.2.1. Классификация

Классификация отходов проводится по ряду признаков. Наиболее общим является деление по форме материальной субстанции, в которой они находятся. По этому признаку отходы разделяют на *вещественные* и *энергетические*. К последним относятся механические колебания и волны, электромагнитные поля (Кн. 2, разд. 2.6.1).

Отходы в вещественной форме различают по:
агрегатному состоянию — газообразные, жидкие, твердые и условно твердые (пастообразные);
химическому составу — органические и неорганические;

генезису (происхождению) — бытовые и производственные (промышленные, сельскохозяйственные, промысловые);

возможности применения — вторичные материальные ресурсы, которые используются или пригодны к эффективному употреблению на данном этапе развития науки и техники; отбросы;

токсическому действию — первый класс (чрезвычайно опасные вещества), второй (высокоопасные), третий (умеренно опасные) и четвертый (малоопасные). Подробно классы опасности рассмотрены в разд. 1.2.2;

способности к самостоятельному горению — горючие и негорючие. Возможны и другие признаки деления отходов.

В области государственного управления при обращении с отходами для учета, контроля, нормирования и т.д. Госкомэкологией России был разработан Федеральный классификационный каталог отходов, который зарегистрирован в Минюсте России 29.12.1997 (рег. № 1445). Для формализации видов отходов, удобства передачи информации, ее сбора и обработки введена кодовая система Каталога отходов. Последний содержит перечень их видов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков: происхождению, агрегатному состоянию, химическому составу, экологической опасности. Каждому виду присваивается шестизначный код.

Каталог имеет пять уровней классификации, расположенных по иерархическому принципу (блоки, группы, подгруппы, позиции и субпозиции). Высшим уровнем классификации являются блоки, сформированные по признаку происхождения отходов:

органического природного происхождения (животного и растительного);
минерального происхождения;
химического происхождения;
коммунальные (включая бытовые).

Каждый блок состоит из групп, которые делятся на подгруппы. В каждой подгруппе выделяются позиции и соответствующие им субпозиции. Разделение на группы, подгруппы, позиции и субпозиции основано на следующих признаках:

происхождение сырья;
принадлежность к определенному производству, технологии;
химический состав;
агрегатное состояние и другие свойства.

Позиция представляет собой полную характеристику вида отхода в отличие от верхних уровней классификации. Субпозиция включает в себе информацию об экологической опасности конкретного вида отхода. Название виду присваивается с учетом происхождения и химического состава отхода.

В Каталоге принято обозначение кодов арабскими цифрами, но в шестом разряде кода могут быть и буквенные символы некоторых видов отходов. Структура кодового обозначения построена по десятичной системе и включает в себя код блока, группы, подгруппы, позиции и субпозиции.

Блок обозначается цифровым кодом с одной первой значащей цифрой, отличной от нуля, например 100 000.

Группа обозначается цифровым кодом с двумя первыми значащими цифрами, отличными от нуля, например 110 000.

Подгруппа обозначается цифровым кодом с тремя первыми значащими цифрами, отличными от нуля, например 111 000.

Позиция обозначается цифровым кодом с пятью первыми значащими цифрами, отличными от нуля, например 111 110.

Субпозиция обозначается шестизначным цифровым кодом, например 111 111.

Блок, группа и подгруппа отражают развернутую характеристику происхождения отхода, а позиция и субпозиция — его состав и свойства. Шестая цифра кода обозначает уровень экологической опасности отхода в соответствии с установленным классом опасности. Для каждого отхода должен быть определен его вид (шестизначный код). При поиске вида отхода в Каталоге определяющим является код, а не наименование отхода.

Для наглядности ниже приведено расположение одного из видов отходов в Федеральном классификационном каталоге.

Коды отходов	Наименование
500 000	Отходы химического происхождения
510 000	Отходы оксидов, гидроксидов, солей
511 000	Гальванические шламы
513 000	Отходы оксидов и гидроксидов
515 000	Отходы солей
520 000	Отходы кислот, щелочей и концентратов
521 000	Отходы неорганических кислот
522 000	Отходы органических кислот
524 000	Отходы щелочей
527 000	Концентраты

Ведение Каталога (формирование и постоянное наполнение его конкретным содержанием) будет осуществляться на основе исходных данных, которые представляются по установленной форме производителями отходов. Принят следующий порядок учета отходов в Каталоге.

1. Учету подлежат все виды отходов, за исключением радиоактивных и захороненных на объектах размещения отходов до 31.12.1997 г.

2. Производитель отходов представляет в территориальный экологический орган России заявку на их учет в Каталоге, которая включает сведения о происхождении, агрегатном состоянии, химическом составе отходов (процентное содержание компонентов с указанием методов его определения), классе опасности.

3. Территориальный орган составляет региональный реестр отходов, классифицированный до уровня подгрупп, и направляет его вместе с исходными данными в Главное управление аналитического контроля экологической службы России (ГУАК).

4. После проведения государственной экологической экспертизы представленных материалов ГУАК осуществляет классификацию отходов по видам и представляет региональный реестр отходов с установленными кодами на согласование в экологическую службу России. Последняя направляет территориальному органу согласованный региональный реестр отходов с установленными кодами. Территориальный орган выдает производителю отхода «Паспорт отхода».

1.2.2. Определение класса опасности отходов

Порядок определения неоднократно менялся в соответствии с нормативными документами различных ведомств. Например, в СССР его находили расчетом в согласии с разработкой «Предельное содержание токсичных соединений в промышленных отходах, обуславливающее отнесение этих отходов к категории токсичности» № 3170-84. — М.: Минздрав СССР, 1985. В рекомендуемых методах расчета класса опасности используются значения ПДК химических веществ в почве, концентрации компонентов в общей массе отходов, растворимости химических компонентов в воде.

Для определения класса токсичности на основе ПДК химических веществ в почве рассчитывается индекс токсичности (K_i) по формуле:

$$K_i = \frac{ПДК_i}{(S + C_B)_i}, \quad (1.1)$$

где ПДК_i — предельно допустимая концентрация в почве i-го токсичного химического вещества, содержащегося в отходе; S — безразмерный коэффициент, отражающий растворимость его в воде; C_B — содержание данного компонента в общей массе отхода, т/т.

Величину K_i округляют до первого десятичного знака после запятой.

Рассчитав K_i для отдельных компонентов отхода, выбирают 1-3 ведущих компонента, имеющих минимальное значение K_i , причем $K_1 < K_2 < K_3$. Кроме того, должно выполняться условие: $2K_1 > K_3$. Затем находят суммарный индекс токсичности (K) по формуле:

$$K_i = \frac{1}{n^2} \sum_1^n K_i, \quad (1.2)$$

где $n \leq 3$, после чего определяют класс токсичности с помощью вспомогательной табл. 1.1, в согласии с «Методическими указаниями по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами». М.: Минздрав СССР, 1987, № 4266-87.

Таблица 1.1

Классификация опасности химических веществ на основе их ПДК в почве

Расчетная величина К по ПДК в почве	Класс токсичности	Степень опасности
Менее 2	1	Чрезвычайно опасные
От 2 до 16	2	Высокоопасные
От 16,1 до 30	3	Умеренно опасные
Более 30	4	Малоопасные

В России в настоящее время действуют «Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления» (СП 2.1.7.1386-03). Правила не распространяются на радиоактивные, взрыво- и пожароопасные отходы, а также на отходы, способные вызвать инфекционные заболевания (пищевых и лечебно-профилактических учреждений, осадки хозяйственно-бытовых СВ и т.п.). Отнесение к классам опасности перечисленных категорий отходов производится на основании иных нормативно-методических документов.

Как и загрязняющие вещества, отходы по степени воздействия на окружающую среду распределяются на четыре класса опасности. Первый класс — чрезвычайно опасные, второй — высокоопасные, третий — умеренно опасные и четвертый — малоопасные отходы.

Класс опасности может быть определен расчетным и/или экспериментальным методом. Первый применяется, если известен качественный и количественный состав отходов и в литературных источниках имеются необходимые сведения для определения показателей опасности компонентов отхода. В противном случае определение производится экспериментально.

Ниже излагаются основные положения расчетного метода определения класса опасности токсичных отходов по СП 2.1.7.1386-03.

Отнесение отхода к классу опасности расчетным методом осуществляется на основании величины суммарного индекса опасности К, оп-

ределенного по сумме показателей опасности веществ, составляющих отход (K_i). Результаты расчетного определения класса опасности отхода оформляют в виде табл. 1.2.

Перечень компонентов отхода и их количественное содержание устанавливаются по результатам качественного и количественного химического анализа или по составу исходного сырья и технологии его переработки.

Показатель опасности компонента отхода K_i рассчитывается как отношение концентрации компонента отхода C_i (мг/кг) и коэффициента степени опасности компонента W_i :

$$K_i = C_i / W_i \quad (1.3)$$

$$\lg W_i = 1,2 (X_i - 1), \quad (1.4)$$

где X_i — усредненный параметр опасности компонента отхода.

Алгоритм определения усредненного параметра опасности компонента отхода X_i производится следующим образом.

На основе качественного состава отхода проводится информационный поиск токсикологических, санитарно-гигиенических и физико-химических показателей опасности каждого его компонента.

Таблица 1.2

Показатели опасности и концентрации компонентов отходов

Показатели опасности	Наименование компонентов отхода и его концентрации С (мг/кг)						Ис-точ. инф.
	Компон. 1, С мг/кг		Компон. 2, С мг/кг		Компон. n, С мг/кг		
	Числ. знач.	балл	Числ. знач.	балл	Числ. знач.	балл	
ПДК _п							
X_i							
W_i							
K							

Показатели опасности выбирают из перечня табл. 1.3, а их значения — из нормативных документов и литературных источников, при этом приводятся полные библиографические данные использованного источника информации.

По значению показателя опасности компоненту отхода присваивается балл от 1 до 4, в соответствии с табл. 1.3. В расчете используются первые двенадцать показателей. При отсутствии в справочной литературе информации по ним, используются данные по остальным показателям.

Таблица 1.3.

Токсикологические, санитарно-гигиенические и физико-химические показатели компонентов отхода

№	Показатели опасности		Уровни и критерии опасности			
			1	2	3	4
1	ПДК _П (ОДК) химических веществ (мг/кг)	неорган.	<5	5-50	51-1000	>1000
		органич.	<1	1-9,9	10-99,9	>100
2	ПДК _В (ОДУ) (мг/л)		<0,01	0,01-0,1	0,11-1	>1
3	ПДК _{Р.З.} (мг/м ³)		<0,1	0,1-1	1,1-10	>10
4	ПДК _{С.С.(М.Р.)} (ОБУВ) (мг/м ³)		<0,01	0,01-0,1	0,11-1	>1
5	Класс опасности в воде		1	2	3	4
6	Класс опасности в раб. зоне		1	2	3	4
7	Класс опасности в атмосферном воздухе		1	2	3	4
8	Класс опасности в почве		1	2	3	4
9	DL50 (мг/кг) перорально		<15	15-150	151-5000	>5000
10	CL50 (мг/м ³)		<500	500-5000	5001-50000	>50000
11	Канцерогенность		Доказана для человека	Доказана для животных	Есть вероятность для животных	Неканцероген (доказано)
12	Lg(S, мг/л/ПДК _В)		>5	5-2	1,9-1	<1
13	Lg(C _{НАС} , мг/м ³ /ПДК _{Р.З.})		>5	5-2	1,9-1	<1
14	ПДК _{ВР} (мг/л)		0,001	0,001-0,01	0,011-0,1	>0,1
15	DL50(skin) (мг/кг)		<100	100-500	501-2500	>2500
16	CL50(w)(мг/л/96 ч)		<1	1-5	5,1-100	>100
17	Lg(C _{НАС} , мг/м ³ /ПДК _{С.С./М.Р.})		>7	7-3,9	3,8-1,6	<1,6
18	КВИО		>300	300-30	29-3	<3
19	Log Kow (октанол/вода)		>4	4-2	1,9-0	0

№	Показатели опасности	Уровни и критерии опасности			
		1	2	3	4
20	Персистентность: трансформация в окружающей среде	Образование более токсичных продуктов, в т.ч. об-ладающих отдаленными эффектами или новыми свойствами	Образование продуктов с более выраженным влиянием др. критериев вредности	Образование продуктов, токсичность которых близка к токсичности исходного вещества	Образование менее токсичных продуктов
21	Биоаккумуляция: поведение в пищевой цепочке	Накопление во всех звеньях	Накопление в нескольких звеньях	Накопление в одном из звеньев	Нет накопления
22	- мутагенность	Обнаружена	Есть возможность проявления для человека	Есть возможность проявления для животных	Отсутствует (доказано)
23	ПДК _{ГП} в продуктах питания	0,01	0,01-1	1,1-10	>10
	Балл	1	2	3	4

При наличии в источниках информации нескольких значений данного показателя опасности (например, DL50 для разных видов животных) выбирается величина, соответствующая максимальной опасности, т.е. наименьшее значение DL50 и т.д. При отсутствии ПДК допускается использование ОБУВ, ОДК и других расчетных нормативов.

При расчете величины X_i учитывается информационный показатель I, который зависит от числа используемых показателей опасности n и имеет следующие значения (в баллах): I = 4 при n = 12-11; I = 3 при n = 10-9; I = 2 при n = 8-7; I = 1 при n ≤ 6.

Усредненный параметр опасности компонента отхода X_i вычисляется делением суммы баллов по всем показателям, включая информационный, на общее число показателей.

Компоненты отходов, состоящие из таких химических элементов как кремний, титан, натрий, калий, кальций, углерод, фосфор, сера в концентрациях, не превышающих их содержание в основных типах почв, относятся к практически неопасным компонентам с усредненным параметром опасности компонента X_i , равным 4.

При наличии в составе отходов веществ, продуктов с доказанной для человека канцерогенностью, данному компоненту отхода присваи-

вается значение $W_i = 1$, остальные показатели опасности не учитываются, т.е. $K_i = C_i/1 = C_i$.

Суммарный индекс опасности K равен сумме K_i всех компонентов отхода: $K = \sum K_i = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n$.

Ранжирование отхода по классам опасности по величине K проводится в соответствии с табл. 1.4.

Таблица 1.4.

Классификация опасности отходов для здоровья человека и среды обитания человека

Класс опасности	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс
K	>50000	$50000-1000$	$999-100$	<100

Пример расчета класса опасности отхода приведен в табл. 1.5.

Подробные рекомендации по применению «Критериев...» содержит «Методическое пособие...» Минприроды России.

Пример расчета для отдельного компонента.

Цинк. Так как использовано 9 показателей, то информационный показатель $I = 3$; $X_i = 2,5$; $\lg W_i = 1,2 (2,5 - 1) = 1,8$; $W_i = 63$; $K_i = 58,5/63 = 0,92$.

Пример расчета для отхода представлен в табл. 1.6.

СП 2.1.7.1386-03, утвержденные Главным санитарным врачом России, не единственный официальный документ, регламентирующий порядок расчета класса опасности отходов. Минприроды России издало приказ №511 от 15.06.2001 г. «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды». Он предусматривает 5 классов опасности (пятый – практически неопасные отходы). Несогласованность действий правительственных структур приводит к гротескной ситуации, когда в ряде случаев приходится оформлять два проекта нормативов образования отходов: для согласования в территориальных органах МПР России и для территориальных органов Минздравсоцразвития РФ.

В последние годы для определения класса опасности отходов предлагается использовать также методы биотестирования. К их достоинствам относят доступность тест-объекта: возможно его культивирование в лабораторных условиях, несложно при этом поддерживать необходимые температуру, освещение, составы питательных сред, чистоту воздуха и т.д.

Таблица 1.5.

Показатели опасности и концентрации отдельных компонентов отходов

№	Показатели опасности	Наименование компонентов отхода и его концентрация С (мг/кг)							
		Цинк, 58,5 мг/кг		Медь, 1,7 мг/кг		Кадмий, 41,5 мг/кг		Свинец, мг/кг	
		Числ. знач.	балл	Числ. знач.	балл	Числ. знач.	балл	Числ. знач.	балл
1	ПДК _П	23	2	7 мг/кг	2			32	2
2	ПДК _В	5	4	1 мг/л	3			0,03	2
3	ПДК _{Р.з.}	0,5	2	1 мг/м ³	2			0,01	1
4	ПДК _{М.р.}	0,02	2	0,002 мг/м ³	1			0,003	1
5	Класс опасн. в почве	1	1	2	2			1	1
6	Класс опасн. в воде	3	3	3	3			2	2
7	Класс опасн. в раб. зоне	2	2	3	3			1	1
8	Класс опасн. в атм. возд.	4	4	2	2			2	2
9	LD50	47	2	43 мг/кг	2			217	3
10	Канцерогенность					Доказана для человека		1	
11	X _i		2,5		2,0			1,0	1,5
12	W _i		63		16			1	4
13	K _i		0,92		од			41,5	0

Таблица 1.6.

Расчет класса опасности отходов

Отходы	Концентрация, мг/кг												Класс опасности	
	Fe	Zn	Cu	Pb	Mn	Ni	Cr	Sr	Co	Cd	Mg	K _i	расч.	эксп.
№1	1,5	58,5	1,7	0	28,7	434	2600	73	1,3	4,15	41,5	3039	2	2
№2	130,0	4,2	0	0,1	30,7	90	11,0	0	0	0	35,0	102	3	2
№3	146,3	21,1	10,9	0	26,2	67,8	1,0	0	11,8	0	17,2	74	4	3
W _i элемента	117	63	16	4	36	1	1	171	7	1	88			

В исследовательских целях, согласно данным Агентства охраны окружающей среды США, биотестирование осуществляется с использо-

ванием более 100 тест-объектов и около 5 тыс. тест-реакций. Теоретически возможно применение биологических систем любого уровня сложности: сообщества и популяции организмов, отдельные выборки, функциональные и структурные элементы целого организма, клеток или органы, биохимические системы и др.

Наиболее быстрые реакции на токсическое воздействие разных концентраций удается регистрировать у простых организмов: бактерий, водорослей и инфузорий (минуты или несколько часов). Сутки необходимы для реакций более крупных объектов — ракообразных (дафний). Так называемая хроническая токсичность оценивается в течение многих суток и даже недель.

Перечень наиболее распространенных в России биотестов, применяемых в природоохранных целях, включая методы с использованием ряда эвритопных, т.е. обитающих в разных условиях, видов: зеленые водоросли, ракообразные, простейшие и др.

Показателем токсического воздействия служит степень изменения определенных параметров живых систем, фиксируемых различными методами (биохимическими, биофизическими, микроскопическими, визуальным подсчетом и др.). Наиболее доступны методы, основанные на регистрации общебиологических характеристик (подсчет прироста или численности популяций).

При определении класса опасности обязателен анализ образцов не менее чем двумя тест-объектами из разных биологических таксонов (однородных групп). При наличии у разных тест-объектов неодинаковой реакции в окончательном результате следует учитывать ответ наиболее чувствительного тест-объекта.

Класс опасности отхода определяется по одной вытяжке из него, разведенной до такой степени, при которой ее вредное воздействие отсутствует. Для 1-го класса степень разведения — более 10000, для 2-го — 10000-1001, 3-го — 1000-101, 4-го — менее 100, 5-го — ноль (Терехова).

1.3. Масштабы образования и накопления

Объемы отходов весьма значительны. Так, их ежегодные количества в мире составляют: твердых — свыше 3 млрд т, промышленных и бытовых стоков — до 700 км³, газообразных веществ — более 25 млрд т, на 90% представленных углекислым газом. Данные табл. 1.7 показывают, что в развитых странах на одного жителя ежегодно образуется 300-750 кг коммунальных и 1,0-2,5 т промышленных отходов.

Таблица 1.7

Годовой выход отходов в некоторых странах мира

Страна	Отходы		
	Всего, млн т	На 1 чел., кг	На 1 км ² территории, т
США	178/628	762/2563	19,4/68
Япония	72/312	597/2578	191/829
ФРГ	22/56	365/933	105/229
Великобритания	18/50	313/909	73/207
Франция	22/50	399/909	40/91

Примечание. В числителе — твердые бытовые отходы, в знаменателе — промышленные отходы.

Наибольшую долю среди отходов составляют ТБО и ПО. Вещественный состав этих двух групп и схемы обращения с ними существенно различаются.

Таблица 1.8

Типичный состав ТБО, % (Исаева...)

Вид отходов	Россия	ЕС	США
Органические вещества			
Бумага, картон	37,0	16,0	42,0
Пищевые отходы	30,0	29,9	12,0
Деревья, листья	2,0	—	—
Текстиль	5,5	2,0	0,6
Шерсть	—	—	2,4
Кожа, резина	0,5	—	—
Полимерные материалы	5,5	5,4	1,6
Уличные отходы	—	—	15
Прочие	—	26,1	—
Итого:	80,5	79,4	73,6
Неорганические вещества			
Кости	1,0	—	—
Металлы черные	3,3	2,8	4,0
Металлы цветные	0,5	0,4	4,0
Стекло	4,0	9,2	6,2
Камни, керамика	1,0	—	11,0
Зола, шлак	9,7	—	—
Прочие	—	7,2	1,4
Итого:	19,5	20,6	26,4

Примечание: ЕС — европейские страны

Усредненный состав ТБО на начало 80-х гг. прошлого века (табл. 1.8) свидетельствует, что состав мусора, образующегося в разных странах, примерно одинаков, в частности близко соотношение между органическими и неорганическими веществами. По сравнению с 50-ми гг. в бытовых отходах уменьшилась доля золы и шлака, но возросла — бумаги и полимерных материалов. Содержание органических веществ достигло 80%. Это привело к увеличению их теплоты сгорания (в России в 60-х гг. 20 в. с 3000 до 6000-9000 кДж/кг).

Более подробные сведения по странам ЕС о количестве и составе муниципальных отходов, методах, стоимостных показателях их переработки содержит работа «Экономический анализ...».

Элементный состав ТБО также подтверждает преобладание в них органических материалов, %:

Элемент ТБО, %	С	Н	О	N	S	Влага	Зола	Летучие
Европа	26	3,5	21	0,6	0,1	28-40	21	37-65
Россия	19,2	2,6	15,3	0,5	0,2	54,7	10,5	65,9

Количественный и качественный спектры ПО гораздо обширнее, чем бытовых. Эти отходы в значительных объемах создаются на каждом участке, в каждом технологическом переделе многочисленных заводов и фабрик, ферм, свинарников, морских промыслов и т.п. На долю производственных приходится большая часть твердых и, особенно, газообразных отходов, загрязненных стоков. Необычайная пестрота химического состава и свойств исключает усреднение данных по этим и другим характеристикам ПО, по методам обращения с ними.

В Российской Федерации складировано более 85 млрд т твердых отходов, под размещение которых занято более 300 тыс. га. Их ежегодное увеличение составляет около 2,6 млрд т. Из используемой массы отходов ~80% приходится на долю вскрышных пород и отходов обогащения, направляемых для закладки выработанного пространства шахт и карьеров; 2% применяются в качестве топлива и минеральных удобрений; 18% перерабатывают как вторичное сырье, в том числе 10% — в стройиндустрии (Протасов...; Федеральная...).

Из изложенного следует, что основными продуцентами твердых отходов являются объекты горно-обогатительного комплекса и в целом первого передела. Они же — основные источники газообразных и жидких отходов, большая часть которых образуется на относительно небольшом количестве предприятий.

Так, по данным формы 2-ТП (воздух) за 1992 г., 142 наиболее крупных промышленных объекта определили 54,6% суммарных выбросов всех российских производств. Лидером являлся Норильский горно-металлургический комбинат (масса загрязнений 2208 тыс. т), однако и другие выбрасывали не менее 30 тыс. т/год загрязняющих веществ. Доля 69 первых продуцентов жидких отходов, по данным формы 2-ТП (водхоз), в 1992 г. достигала 54,2%. Список возглавлял Братский лесопромышленный комбинат (293 млн м³ сбросов) при нижнем уровне для предприятий этой группы 30 млн м³/год сточных вод.

Общий список 25 предприятий, попавших в число наиболее крупных загрязнителей как воздушного (22,4% всех выбросов), так и водного (14,3% всех сбросов) бассейнов возглавили четыре металлургических комбината (Норильский, Магнитогорский, Череповецкий, Новоліпецкий). В первую десятку вошли также Челябинский металлургический комбинат, Норильскникель (г. Мончегорск) и Печенганикель (Промышленные...).

Если учесть, что наряду с большим количеством выбросов и сбросов предприятия первого передела производят и самые опасные токсиканты (диоксины, фураны, бенз(а)пирен, цианиды, ртуть и т.п.), то решающая роль этих объектов в загрязнении окружающей среды становится очевидной. В связи с этим рассмотрение технологий переработки отходов таких предприятий определяет основное содержание данной книги.

1.4. Способы переработки

1.4.1. Исходные положения

Как уже отмечалось (разд. 1.2), номенклатура отходов весьма многообразна. Промышленные, сельскохозяйственные, промысловые предприятия выпускают десятки тысяч видов продукции. При производстве каждого из них обычно возникает несколько типов газообразных, жидких и твердых отходов. Так, например, комбинаты черной металлургии с полным циклом производства выпускают, по существу, только один вид основной продукции (сталь в виде слитков, изделий прокатных производств). Однако при этом в качестве отходов образуются отсеvy агломерата и окатышей, пыли, шламы и шлаки доменного и сталеплавильных переделов, шламы первичных и вторичных отстойников прокатных цехов, отходящие технологические газы (доменный, конвертерный, коксовый и др.), различные сточные воды и т.д.

В тех случаях, когда современный уровень развития производства делает экономически целесообразной переработку и/или утилизацию какого-либо отхода, для каждого из них зачастую предлагается несколько конкурентоспособных технологий. Отсюда следует, что возможные методы переработки и утилизации отходов еще более многообразны, чем номенклатура последних. Данное обстоятельство делает актуальной задачу выявления как общих черт методов, так и их существенных отличий друг от друга, т.е. классификации способов переработки отходов. В самом общем виде их можно разделить на две группы.

Значительная часть отходов перерабатывается по схемам и на оборудовании, аналогичных применяемым для получения товарной продукции из первичного промышленного, сельскохозяйственного и промыслового сырья. Примеры: использование металлолома в сталеплавильных агрегатах, металлургических шлаков и железосодержащих отходов в производстве портландцемента, получение серной кислоты из отходящих газов конвертерного, обжигового и других переделов медеплавильных заводов, товарной продукции из отработанных масел и отходов нефтехимии и т.д.

Технологии переработки отходов, аналогичные применяемым для первичного сырья, можно назвать *индустриальными*.

Вторая группа включает способы, получившие распространение только в процессах переработки вторичного сырья или защиты окружающей среды (воздушной, водной, почв). Таков, в частности, ряд технологий восстановления первоначальных свойств загрязненных земель. Методы этой группы можно назвать *утилизационными*.

Индустриальные технологии и их оборудование в основном рассмотрены в первой книге ФОПП. Здесь они освещаются лишь при отсутствии достаточных сведений о них в «Технологиях...» и «Экологии...». Характеристика утилизационных способов приводится ниже (разд. 1.4.2). Дополнительные сведения о них в ряде случаев даются также при рассмотрении методов переработки отдельных видов отходов.

1.4.2. Классификация

Все процессы переработки и обезвреживания отходов, в соответствии с принятой нами классификацией технологических процессов, можно разделить на физические, химические, физико-химические, биохимические и комбинированные (Кн. 1).

В *физических процессах* изменяются лишь форма, размеры, агрегатное состояние и некоторые другие свойства отходов при сохранении их качественного химического состава. Эти процессы доминируют, например, при дроблении и измельчении вскрышных пород, хвостов обо-

гащения, шлаков и зол, при окомковании тонкодисперсных материалов, брикетировании рудной мелочи, строительных отходов, в магнитных и электрических методах сепарации смешанных отходов, в процессах сушки и испарения.

Химические процессы изменяют физические свойства исходного сырья и его качественный химический состав. Взаимодействие веществ в них осуществляется в стехиометрических соотношениях, определяемых уравнениями протекающих реакций.

Важное место среди химических процессов занимают термические способы. Для ускорения обезвреживания загрязнителей или их извлечения во всех типах термических превращений могут быть использованы катализаторы.

Термические способы предусматривают тепловое воздействие на отходы, которое приводит к изменению их первоначального состава. Виды термического воздействия: сжигание, газификация, пиролиз, нагревание на воздухе, в вакууме и т.д. Их используют для удаления и обезвреживания органических веществ и некоторых цветных металлов, термической стабилизации грунтов, сжигания строительных отходов и т.п.

Наибольшее распространение получили первые три метода. Их существенное отличие друг от друга заключается в разной степени окисленности атмосферы, в которой они реализуются. Так, сжигание горючих отходов проводят в окислительной атмосфере, газификацию — в частично окислительной, пиролиз — в неокислительной (без доступа воздуха). Окислительная, нейтральная, восстановительная атмосфера или ее отсутствие (вакуум) характерны также и для термических способов переработки негорючих отходов.

Сжигание — весьма распространенный метод термической переработки отходов. Он реализуется при температурах не ниже 600°C и относится к окислительным термическим процессам автогенного характера. Автогенность означает, что теплоты, выделяемой при окислении, достаточно для поддержания горения и что дополнительного топлива для этого не требуется.

При сгорании органической части отходов образуются диоксид и оксид углерода, пары воды, оксиды азота и серы, аэрозоли. Методы сжигания не нуждаются в организации шламового хозяйства, имеют компактное, простое в обслуживании оборудование, низкую стоимость очистки отходящих газов. Однако область их применения ограничивается свойствами продуктов реакции. Их нельзя использовать для переработки отходов, если последние содержат фосфор, галогены, серу. В этом случае могут образовываться продукты реакции, например диоксины и фураны, по токсичности во много раз превосходящие исходные газовые выбросы.

Твердые продукты сгорания отходов, как правило, в виде золы, накапливаются в нижней части печи и периодически вывозятся на захоронение или используются в производстве вяжущих веществ.

Основным полезным продуктом сжигания отходов является обычно тепло отходящих газов, используемых как ВЭР для выработки пара, электроэнергии, горячей воды для производственных и бытовых нужд.

Газификация как индустриальная технология применяется для переработки твердых, жидких и пастообразных отходов. В частности, она широко используется в металлургии для получения горючих газов из бурого высокозольного угля.

Сущность газификации заключается в обработке углеродсодержащего вещества (угля) при 600-1100°C водяным паром, кислородом (воздухом) или диоксидом углерода. В результате соответственно паровой, кислородной, углекислотной или комбинированной конверсии угля образуется равновесная смесь вновь образованных (водород, оксид углерода) и исходных газов. Эта смесь (генераторный газ, синтез-газ), включающая продукт неполного окисления угля (оксид углерода), а также водород, обладает восстановительным потенциалом и используется как газообразное топливо. Синтез-газ может содержать туман жидких смолистых веществ, однако его восстановительный потенциал практически исключает наличие в нем оксидов серы и азота.

Генераторный газ, полученный при газификации на воздушном или паро-воздушном дутье, вследствие значительного содержания азота имеет низкую (3,5-6 МДж/м³) теплоту сгорания. Он обычно используется по месту получения в низкотемпературных технологических процессах. Газ паро-кислородной конверсии более калориен (до 16 МДж/м³), поэтому может применяться как технологическое топливо для высокотемпературных печей и транспортируется на значительные расстояния от газогенераторной станции. Он является также ценным химическим сырьем (содержание H₂ и СО доходит до 70%).

Пиролиз как способ нагревания органических веществ до относительно высоких температур без доступа воздуха сопровождается разложением высокомолекулярных соединений на низкомолекулярные, жидкую и газообразную, фракции, коксованием и смолообразованием. В индустриальных технологиях его используют при сухой перегонке дерева, коксовании угля, крекинге нефти и в других случаях.

В зависимости от температуры реализации, различают три вида пиролиза: низкотемпературный, или полукоксование (не более 450-550°C); среднетемпературный, или среднетемпературное коксование (до 800°C); высокотемпературный, или коксование (900-1050°C). С повышением температуры снижается выход жидких и увеличивается — газообразных продуктов. Поэтому низкотемпературный пиролиз обычно

проводят для получения первичной смолы — наиболее ценного источника жидкого топлива и различных химических продуктов. Основная задача высокотемпературного пиролиза — получение высококачественного горючего газа. Твердый остаток (пиролизный кокс) используют в качестве заменителя природных и синтетических углеродсодержащих материалов, сорбента при очистке питьевых и сточных вод и т.д.

Из других химических методов переработки отходов отметим осаждение и комплексообразование. Как правило, они предусматривают добавление химических реагентов к нейтрализуемой массе.

Методы осаждения основаны на обменных ионных реакциях с образованием малорастворимых в воде веществ, выпадающих в виде осадков. Они особенно эффективны при нейтрализации нерадиоактивных тяжелых металлов (Cr, Pb, Hg, Cd) и радионуклидов в грунте. В почве после ее обработки фиксируется более 90% указанных элементов. Осаждение также применяют для очистки грунта от полихлорированных бифенилов, хлорированных и нитрированных углеводородов.

Технологии комплексообразования используют для связывания (иммобилизации) тяжелых металлов, полициклических и ароматических углеводородов, хлорорганики, нефте- и радиоактивных отходов. Комплексообразователями служат неорганические вяжущие типа портланд-цемента, зольных, силикатов калия и натрия (жидкое стекло), извести, бентонита и др.

Недостаток метода — невысокая стойкость некоторых комплексообразователей к воздействию атмосферной и грунтовой влаги, изменению температурного режима, приводящая к разрушению композиционного материала.

Эти и другие способы химической переработки твердых отходов нашли широкое применение при стабилизации, очистке и восстановлении почв.

Физико-химические процессы и основанные на них методы являются пограничными между физическими и химическими, образуя совокупность взаимосвязанных физических и химических превращений, протекающих в вещественной субстанции. Однако, в отличие от химических методов, переходы одних веществ в другие в данном случае нестехиометричны. Значительное влияние на изменение свойств системы при протекании физико-химических процессов оказывают внешние условия (давление, объем, температура и др.), в которых они реализуются. При этом могут существенно изменяться поверхностные, межфазные свойства, развиваются другие явления смешанного (физического и химического) характера.

Физико-химические процессы переработки отходов широко применяются в промышленных технологиях металлургии, основных химических производств, органического синтеза, энергетики и особенно в

природоохранных технологиях (пыле- и газоулавливание, очистка сточных вод и т.п.). В утилизационных способах они образуют наиболее представительную группу методов, используемых в основном не столько для переработки и утилизации, сколько для обезвреживания промышленных и бытовых отходов. В этом плане можно назвать методы коагуляции и флокуляции, экстракции, сорбции, ионного обмена, флотации, ультрафиолетового излучения, радиационного воздействия и другие, подробно рассмотренные ранее (Кн. 2).

Биохимические процессы представляют собой химические превращения, протекающие с участием субъектов живой природы, выполняющих роль биологического катализатора. Они основаны на способности различных штаммов микроорганизмов разлагать и/или усваивать многие органические соединения. Биохимические превращения составляют основу жизнедеятельности живых организмов растительного и животного мира. Продуктом этих превращений являются вещества неживой природы. На использовании биохимических превращений построены многие технологии, например методы переработки сельскохозяйственной продукции, а также отходов с получением биогаза, биометаллургии, очистки сточных вод и др.

Реальные технологии редко могут быть сведены только к какому-либо одному виду превращений. Как правило, имеют место *комбинированные* процессы, являющиеся сочетанием двух и более типов превращений, один из которых может быть преобладающим.

Применительно к переработке и утилизации отходов невозможны как понятие *биологические* процессы. Действительно, конечный продукт биологического процесса — воспроизведенный субъект живой природы, например крупный рогатый скот в животноводстве, но отнюдь не неживое вещество биохимического процесса. По существу биологический процесс представляет собой совокупность множества физических, химических, физико-химических и биохимических превращений, одновременно протекающих в субъекте живой природы, которые в течение определенного времени обеспечивают жизнедеятельность этого субъекта, включающую и воспроизводство потомства.

1.5. Оборудование термических способов

Разнообразие промышленных и утилизационных технологий, схем переработки отходов обуславливает еще большее количество вариантов и типоразмеров оборудования. Их обстоятельное описание — задача отдельной работы. В данном курсе это частично делается при изложении промышленных и утилизационных технологий переработки конкретных видов отходов. Вместе с тем некоторые виды оборудования

достаточно универсальны. Прежде всего это относится к конструкциям термических методов переработки отходов, рассматриваемых ниже.

1.5.1. Сжигание отходов

Данный весьма распространенный способ термического обезвреживания осуществляется в устройствах различной конструкции. Они представляют собой технологические или энерготехнологические агрегаты, в которых тепло сожженного жидкого, твердого или газообразного топлива или электронагрева используется для технологических или отопительных целей.

Классификация сжигающих устройств обычно строится на различии их аэродинамических характеристик. По этому признаку их подразделяют на слоевые, камерные и шахтные.

Слоевые конструкции могут быть представлены агрегатами с *плотным* (*подовые, многоподовые, барабанные* печи) или *кипящим* слоем. Первые используются для сжигания кусковых, например неизмельченных твердых бытовых отходов, вторые — для тонкодисперсных и мелких (размер обычно не более 5 мм).

Камерные установки составляют *факельные*, обычно *прямоточные, циклонные (вихревые)* и *факельно-слоевые (комбинированные)* конструкции. Они предназначены для сжигания газообразных и жидких, а также твердых пылевидных и мелкораздробленных отходов.

Шахтные печи относятся к устройствам вертикального типа.

1.5.1.1. Твердые и пастообразные

Сжигание данных отходов может осуществляться во всех указанных выше типах печей, за исключением барботажных и турбобарботажных.

Подовые печи имеют достаточно разнообразные конструкции, одна из которых (с неподвижной ступенчатой колосниковой решеткой для сжигания отходов) представлена на рис. 1.1. В соответствии с ним отходы из бункера 1 попадают на наклонную ступенчатую колосниковую решетку 8. По ней слой отходов 9 сползает к месту выгрузки золы. Органические составляющие отходов сгорают и в слое, и над слоем 5. В надслоевое пространство через сопло 3 дополнительно подают вторичный воздух, однако основное количество 7 воздуха поступает под решетку. Несгоревшие органические вещества в составе дымовых газов проходят огнеупорную насадку 4, где турбулизируются и затем дожигаются в камере 6. Зола удаляют из печей вручную, но имеются конструкции с ее механизированным удалением.

Современный немецкий опыт утилизации сортированных отходов бытового мусора на 56 МСУ с колосниковыми топками показывает их

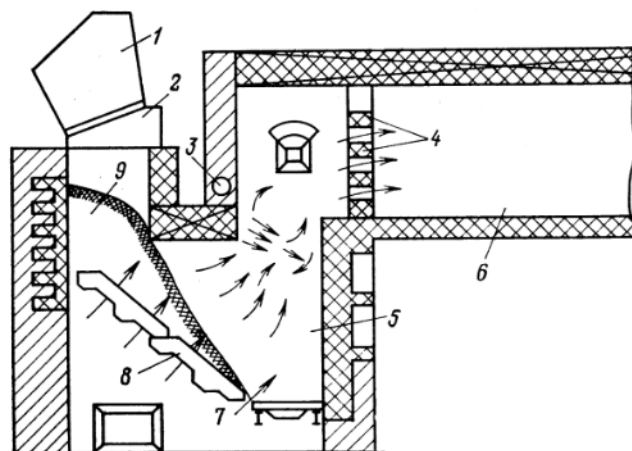


Рис. 1.1. Схема печи с неподвижной колосниковой решеткой:
 1 — бункер; 2 — шахта; 3 — сопло для подачи вторичного воздуха;
 4 — огнеупорная насадка; 5 — первая ступень топки; 6 — камера дожигания (вторая ступень топки); 7 — подача воздуха; 8 — наклонная колосниковая решетка; 9 — слой отходов

высокую эффективность. Так, в 2000 г. на них было сожжено 13 млн т отходов, получено 3 млн МВт-ч электроэнергии и 11,65 млн МВт-ч теплоты. Общее снижение выбросов CO_2 по сравнению с ископаемым топливом составило 3,4 млн т/год или 0,5% всей эмиссии этого газа в Германии (Johnke).

Недостатки подовых печей: низкие удельные нагрузки по перерабатываемым отходам, обуславливающие высокие капитальные и эксплуатационные расходы.

Многоподовые печи предложены в 1899 г. Хершофом для обжига пирита в производстве серной кислоты. С 20-х гг. 20 в. их начали широко использовать в США, ФРГ, Японии и других странах для сжигания осадков городских сточных вод.

Типовые подовые печи представляют собой вертикальные цилиндрические стальные камеры, футерованные огнеупорными материалами. При диаметре 1,5-9,0 м и высоте до 12 м они имеют 4-14 подовых полок. Через их центр проходит вертикальный пустотелый вал со скребковыми мешалками на каждом поду. Последние при частоте вращения вала 2-3 мин⁻¹ перемещают материал на одних полках к периферии, а на других — от периферии к центру. Это обеспечивает зигзагообразное движение сжигаемого материала с верхних подов на

нижние. Воздух для обжига подается в противоточном варианте (снизу вверх). Таким образом улучшается контакт между горячими дымовыми газами и загружаемым материалом, способствуя более полному сжиганию отходов (рис. 1.2).

В многоподовых печах выделяют четыре технологические зоны: первая (верхние поды) — сушки, где испаряется большая часть влаги; вторая (средние поды) — горения; третья — дожигания органических веществ в шлаке; четвертая — охлаждения шлака. Для поддержания автогенности сжигания при необходимости на все поды или часть их подают дополнительное топливо.

Показатели сжигания: производительность печи по твердому осадку 9-300 т/сут, коэффициент избытка воздуха ~1,5, температура отходящих газов 300-650°C. Относительно низкая температура последних приводит к их загрязнению органикой исходных осадков. Для ее обезвреживания можно использовать либо катализ, либо дополнительные дожигания.

Недостатки многоподовых печей: низкие коэффициенты использования полезного объема печи и удельной тепловой нагрузки; неоптимальные условия контакта перегреваемого осадка с воздухом; относительная недолговечность скребковых конструкций в зоне повышенных температур с агрессивной газовой средой; высокие капитальные и эксплуатационные затраты.

Барабанные печи — один из основных видов теплоэнергетического оборудования для сжигания твердых и пастообразных горючих промышленных отходов. Они представляют собой цилиндрическую вра-

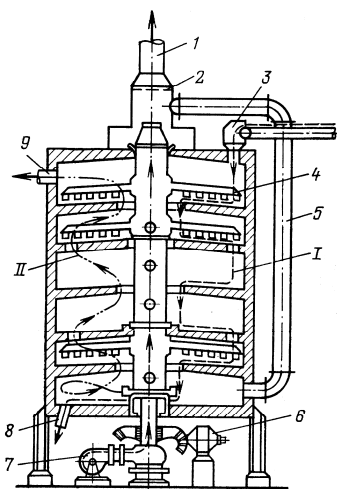


Рис. 1.2. Схема многоподовой печи для сжигания осадков городских сточных вод:

- 1 — вывод охлаждающего воздуха;
- 2 — заслонка;
- 3 — ввод сжигаемого осадка;
- 4 — скребковая мешалка;
- 5 — рециркуляционная труба;
- 6 — привод мешалки;
- 7 — воздуходувка подачи охлаждающего воздуха;
- 8 — выход золы;
- 9 — выход отработанных газов;
- I — сжигаемый осадок;
- II — газы

щающуюся конструкцию, монтируемую под небольшим ($1-2^\circ$) углом к горизонту. Обычно отношение длины барабана (10-25 м) к его диаметру равно $2:1 \div 10:1$, частота вращения $1-5 \text{ мин}^{-1}$. Температура горения составляет $850-1650^\circ\text{C}$, продолжительность пребывания материала в печи, в зависимости от характера сжигаемых отходов, - от секунд до нескольких часов. Температуру при необходимости поддерживают за счет дополнительного топлива, в том числе горючих жидких отходов (отработанных масел, растворителей и др.). В ряде случаев агрегаты укомплектованы регенераторами тепла отходящих газов для подогрева воздушного дутья, поступающего в печь.

Основной узел барабанной печи — цилиндрический корпус 1 — покрыт огнеупорной футеровкой 2. Бандажами 6 он опирается на опорные ролики 7. Вращение печь получает от привода 10 через зубчатый венец 9. Продольное смещение барабана устраняют боковые ролики 8. Отходы 12, перемешиваясь, подсушиваются, частично газифицируются и перемещаются в зону горения 13. Зола (шлак) зоны 14 разгружается в устройства для ее мокрого или сухого гашения (рис. 1.3).

Отходящие газы печи могут содержать несгоревшие примеси, поэтому обычно после барабана предусматривается камера дожигания. Для очистки газов используют скрубберы или электрофилтры, а при наличии в них кислых компонентов — циклонно-пенные аппараты.

Достоинство рассматриваемой конструкции состоит в том, что в ней нет вращающихся элементов в зоне высоких температур и агрегат в целом прост в эксплуатации.

Недостатки барабанных печей: низкие удельные тепловые и массовые нагрузки реакционного объема, обуславливающие высокие капитальные и эксплуатационные расходы.

Печи кипящего слоя относятся к числу наиболее эффективных агрегатов для сжигания отходов. Они широко используются в Японии, Франции, ФРГ, США и других странах в ряде отраслей промышленности (химической, строительных материалов, обогащения, металлургии и т.д.).

Принцип работы реакторов КС состоит в подаче газового потока под слой дисперсного или мелкодробленого материала, обычно с размером частиц $1-5 \text{ мм}$. В таком случае при определенной скорости газов слой переходит в режим витания (взвешенности), образуя псевдооживленное состояние. Это обеспечивает контакт газов со значительно большей поверхностью частиц, что существенно ускоряет сгорание отходов.

Псевдооживленный слой материалов может быть реализован в реакторах различных конструкций с горизонтальным подом, имеющим отверстия для подачи воздуха снизу вверх. Под (перфорированная перегородка) поддерживает материал до и после псевдооживления, а также

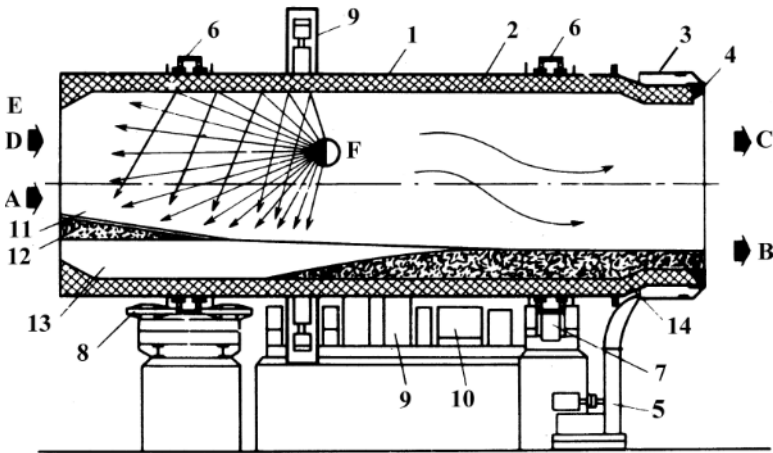


Рис. 1.3. Схема барабанной печи:

A — загрузка отходов; C — дымовые газы; B — выгрузка золы (шлака); D — дополнительное топливо; E — воздух; F — тепловое излучение; 1 — корпус барабанной печи; 2 — футеровка; 3 — разгрузочный торец; 4 — соединительные сегменты; 5 — вентилятор; 6 — бандаж; 7 — ролики опорные; 8 — ролики боковые; 9 — зубчатый венец; 10 — привод; 11 — зона испарения воды; 12 — отходы; 13 — зона горения; 14 — зола (шлак)

равномерно распределяет газовый поток по сечению аппарата (рис. 1.4). Рабочее давление газов составляет ~ 150 г/см².

Печи КС имеют диаметр 2,7-9 м при высоте в несколько метров. Сжигаемый отход подают либо в слой инертного материала (песка), либо над ним. Инертный материал служит тепловым аккумулятором, позволяющим сгладить колебания температуры в слое. Он же способствует более равномерному распределению отхода по сечению печи. Обычно температура слоя составляет 760-810°С. Для элиминирования запахов необходимо избегать работы на нижнем уровне температур. Верхний их предел ограничивается опасностью расплавления или спекания перерабатываемого материала, приводящей к расстройству процесса. Для связывания некоторых загрязнителей, например оксидов серы, в псевдооживленный слой добавляют известняк или доломит, переводящие их в нейтральный продукт (сульфат кальция). Отходящие газы печи очищают в циклонах и электрофильтрах.

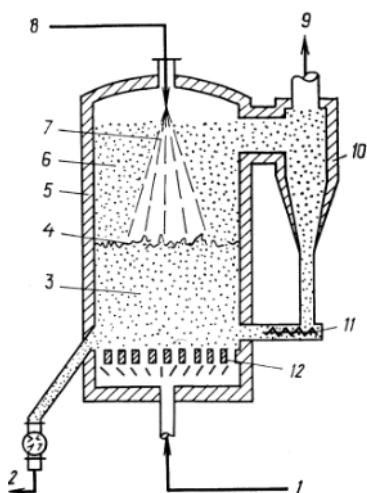


Рис. 1.4. Схема реактора с псевдооживленным слоем:
 1 — воздух для псевдооживления;
 2 — твердый продукт; 3 — слой инертного носителя (песок) в твердой фазе; 4 — граница псевдооживленного слоя; 5 — корпус; 6 — унос золы; 7 — поток загрузаемых отходов; 8 — загрузка отходов; 9 — отходящие газы; 10 — сепаратор; 11 — возврат пыли; 12 — решетка

Достоинства печей КС: уже отмеченные оптимальные условия для интенсивного перемешивания и взаимодействия воздуха и отходов с участием всей внешней поверхности последних; надежная работа агрегата, в рабочей зоне которого отсутствуют движущиеся механизмы; высокая удельная производительность единицы объема и площади печи.

Недостатки: капитальные затраты в 2-3 раза большие, чем для вращающихся печей; значителен пылевывос. Поэтому в Европе устройства КС там, где это технологически приемлемо, постепенно замещаются печами газификации.

1.5.1.2. Жидкие и газообразные

Сжигание данных видов отходов обычно осуществляется в камерных и шахтных печах.

Как уже отмечалось, камерные печи подразделяются на факельные, циклонные и факельно-слоевые.

В факельной камерной печи (с жидким впрыском) отходы, смешанные с воздухом, через специальные струйные или вращающиеся форсунки подаются в камеры сгорания. Простые струйные форсунки используются редко, поскольку часто засоряются. Размер распыливаемых капель не превышает 40 мкм. Отходы с большой вязкостью подогревают.

Факельная камерная печь для обезвреживания жидких отходов, оборудованная горелочными устройствами для сжигания жидкого или газообразного топлива, форсунками для распыления жидких и соплами

для подачи газообразных отходов представляет собой разделенную двумя перевальными стенками прямоугольную камеру из шамотного кирпича с тепловой изоляцией (рис. 1.5). Опыт эксплуатации печей этой конструкции показал, что минеральные вещества в них практически не улавливаются и в основном выносятся с отходящими газами. Система очистки продуктов сгорания включает предварительное их охлаждение в вертикальной отводящей камере со впрыском воды и скруббер Вентури. Воды скрубберной установки направляют в отстойник для осаждения твердых частиц.

Технические характеристики камерной факельной печи: производительность по твердым отходам до 900 кг/ч, по жидким — 650; расход природного газа до 260 м³/ч; высота 4-12 м, площадь пода до 50 м².

Недостаток этих печей обусловлен, главным образом, неудовлетворительным тепло- и массообменом между продуктами горения топлива и отходами вследствие их плохого перемешивания в отсутствие закрученного газового потока.

Циклонные камерные печи относятся к числу наиболее совершенных для сжигания жидких отходов. Их достоинство определяется главным образом аэродинамическими особенностями (вихревой структурой газового потока). Это обеспечивает высокую интенсивность и устойчивость сжигания топлива с очень малыми тепловыми потерями при минимальном избытке воздуха, создает наиболее благоприятные условия тепло-массообмена газовой среды с каплями (частицами) отхода. Как следствие, сконструированы малогабаритные реакторы с удельными тепло-массообменными нагрузками, в десятки раз превышающими их в многоподовых, барабанных, шахтных и других печах. Они позволяют сжигать не только жидкости и суспензии с размером частиц твердой фазы до 300 мкм, но и пылевые отходы.

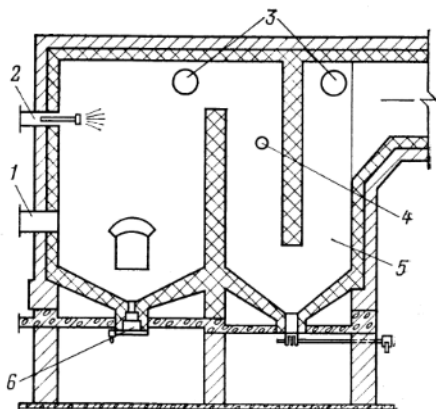


Рис. 1.5. Схема камерной факельной печи для огневого обезвреживания сточных вод:

1 — форсунка для подачи мазута; 2 — форсунка для распыливания стоков; 3 — взрывной клапан; 4 — лок для термопары; 5 — камера для осаждения летучей золы; 6 — затвор для удаления жидкой золы

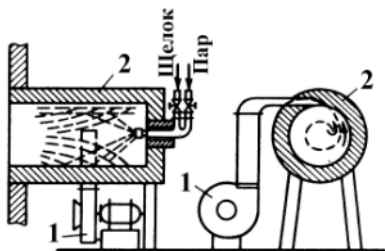


Рис. 1.6. Схема циклонной горизонтальной топки:
1 — вентилятор; 2 — циклонная печь

Вследствие этого выходящий из канала воздух приобретает вращательное движение и перемещается вдоль цилиндра по спирали. Одновременно с торца камеры паровой форсункой под давлением около 0,7 МПа распыляется щелок, который смешивается с движущимся навстречу тангенциально закрученным воздухом. Капли щелока высыхают и воспламеняются. Несгоревшие частицы за счет центробежной силы отбрасываются к стенкам циклона (в зону наибольшей концентрации кислорода) и там догорают.

В конструкциях циклонных печей с вертикальной организацией режима горения жидкие отходы с помощью модифицированных нефтяных горелок подаются в закрученный поток в нижней части объема горения (рис. 1.7), первоначально создаваемый с помощью вводимых в эту зону газа и воздуха. На более высоких уровнях камеры сгорания, по мере развития и завершения процесса горения, закрутка поддерживается дополнительным вводом по касательной воздуха. Типичный диапазон температур в циклоне составляет 850-1650°C. Их высокий уровень при наличии гарниссажа на стенах печи создает широкие возможности для переработки различных типов сточных вод и жидких промышленных отходов с образованием расплава минеральных веществ. Выпущенный из печи и затвердевший, он может быть использован в различных производственных процессах, в том числе получения вяжущего.

Технические характеристики циклонных печей: производительность по жидким отходам до 2800 кг/ч; топливо — керосин, газойль-соляровое масло, мазут и коксовый газ; высота до 9,3 м, площадь пода до 45 м².

Факельно-слоевые (комбинированные) конструкции. В ряде случаев сжигание отходов в безвихревых или вихревых факелах встречается

Конструкция камеры сгорания может предусматривать горизонтальный или вертикальный вариант организации горения.

Типичным примером циклонной печи с горизонтальной организацией режима горения является шведская установка (г. Лоддби) для сжигания сульфитных щелоков (рис. 1.6). В отличие от факельных конструкций подводящий канал вентилятора устанавливается здесь тангенциально к образующей цилиндрической камеры печи. Вслед-

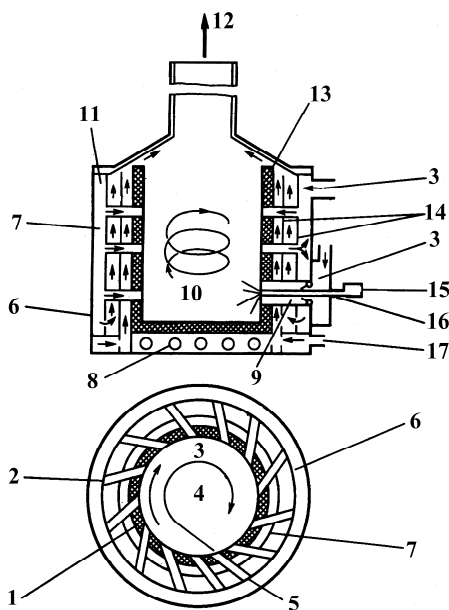


Рис. 1.7. Схема циклонной вертикальной топки:

1 — термостойкие стенки; 2 — воздушные сопла; 3 — подача воздуха; 4 — подача воды; 5 — топливное сопло; 6 — внешний корпус; 7 — внутренний корпус; 8 — охлаждающие воздушные каналы; 9 — подача газа; 10 — подача нефти; 11 — кольцевое пространство, заполненное воздухом под давлением, который подается в камеру сгорания; 12 — продукты сгорания, поступающие на очистку и в трубу; 13 — термостойкие стенки; 14 — воздух, охлаждающий термостойкие стенки; 15 — отходы; 16 — топливное сопло; 17 — охлаждающий воздух, подаваемый под наддувом

затруднения, связанные с наличием в отходах крупных твердых включений или волокнистых заиливающих высоковлажных материалов, засоряющих распыливающие устройства. Иногда количество сжигаемых отходов невелико. В таких случаях целесообразно использовать относительно простые, малочувствительные к загрязненности и обводненности факельно-слоевые установки с надслоевым сжиганием газифицируемых продуктов.

Надслоевые способы сжигания можно разделить на выполняемые без принудительной турбулизации слоя отходов и с его турбулизацией (перемешиванием) механическими или пневматическими устройствами.

Наиболее просты способы, основанные на сжигании отходов без принудительной турбулизации слоя.

Крупногабаритная установка без принудительной турбулизации слоя отходов, но с принудительной подачей воздуха в зону горения создана в США (рис. 1.8). Она представляет собой футерованную огнеупорным кирпичом камеру сгорания 3 с наклонным кирпичным днищем 2, лежащим на песчаном основании 1. Камера охлаждается воздухом через зазор 4. При работе установки отходы насосом 12 через отверстие 10 клапанной коробки 11 подаются в камеру сгорания, образуя слой 8, почти целиком закрывающий днище печи. Его поджигают с помощью воспламеняющейся жидкости (бензин, керосин и т.п.). Одновременно вентилятором 9 через сопла 5 коллектора 6 в камеру подают воздух для сжигания отходов.

Установки данного типа не требуют предварительной обработки отходов. Их недостаток — громоздкость, неуправляемость процесса при вскипании отходов.

Сжигание с механической турбулизацией слоя отходов более эффективно. Оно целесообразно, когда отходы сильно загрязнены и обводнены. В отсутствие перемешивания это приводит к низкому уровню тепло- и массообмена, образованию застойных зон, в которых возможно расслаивание эмульгированной воды. Последнее обуславливает ее внезапное вспенивание и гашение пламени. Кроме того, на днище печи с течением времени накапливаются несгоревшие твердые примеси, включая коксовые и зольные. Они требуют периодического удаления. Одна из возможных конструкций печей с механическим перемешиванием слоя отходов работает следующим образом (рис. 1.9).

На днище 5 относительно тонким слоем заливается отход, например отработанное масло, и поджигается. Необходимый для горения воздух подается в камеру 2 воздуходувкой 10 через отверстия 12 кольцевой полости 13. Одновременно с началом горения от механического привода 7 получает вращение пустотелый вал 8 с радиальными лопастями 4, снабженными скребками 11. Последние перемешивают и усредняют слой отходов. Дополнительное количество воздуха в зону горения подается от воздуходувки 9 через вал 8 и далее через отверстия лопасти 4. Этим воздухом вал и лопасти частично охлаждаются. Негорючие частицы, зола и кокс после прекращения подачи отходов лопастями 4 перемещаются к люку 6 и выгружаются.

Сжигание с пневматическим перемешиванием слоя отходов в последнее время получает распространение и в зарубежной, и в отечественной практике. Оно заключается в барботаже, т.е. в продувке, через слой жидких отходов газообразного агента, например воздуха. Это способствует повышению эффективности процессов тепломассообмена.

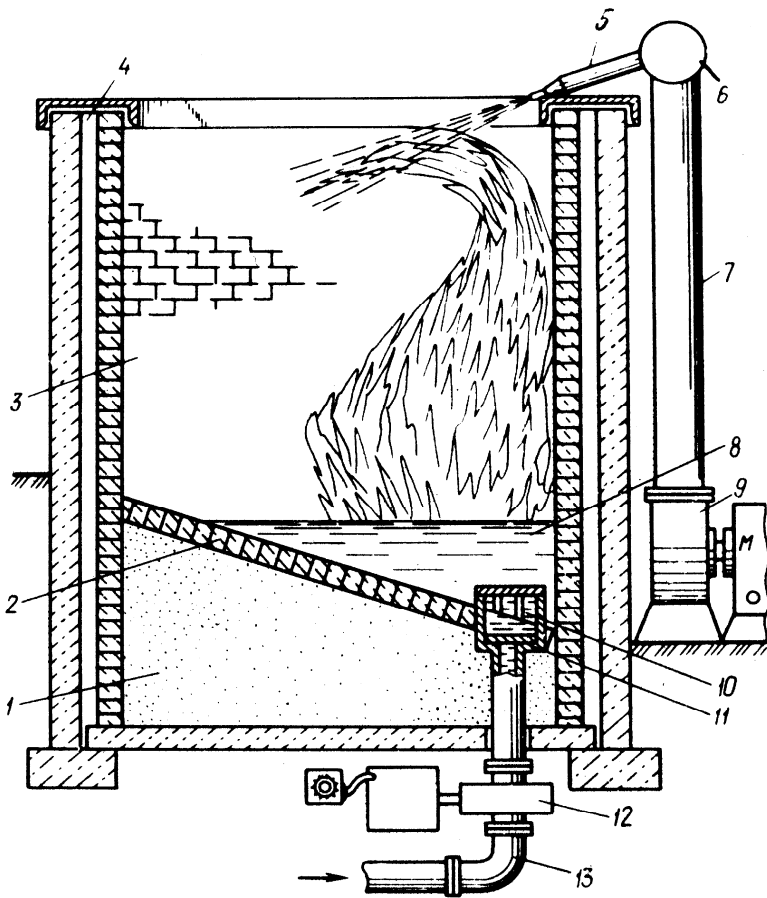


Рис. 1.8. Установка надслоевого горения без принудительного перемешивания слоя:

1 — песчаное основание; 2 — днище камеры сгорания; 3 — камера сгорания; 4 — воздушный зазор; 5 — сопло; 6 — коллектор; 7 — напорный воздухопровод; 8 — слой жидких отходов; 9 — вентилятор; 10 — отверстия клапанной коробки; 11 — клапанная коробка; 12 — насос; 13 — трубопровод

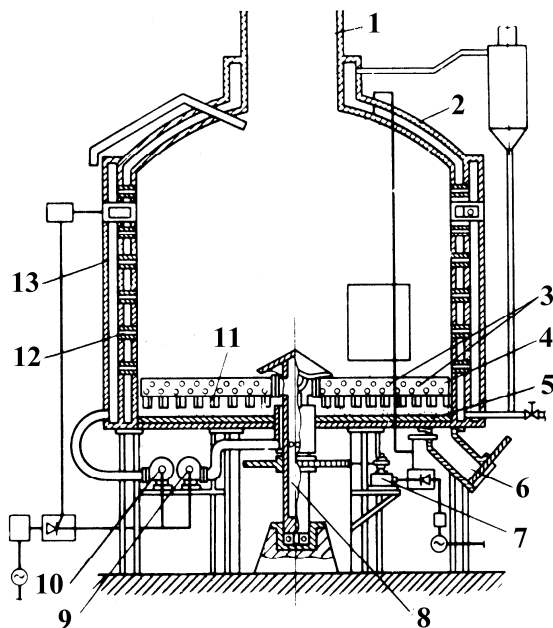


Рис. 1.9. Установка надслоевого горения с механическим перемешиванием слоя:

- 1 — газоход; 2 — камера сгорания;
- 3 — отверстия для воздуха; 4 — радиальные лопасти; 5 — днище; 6 — разгрузочный люк; 7 — привод; 8 — пустотельный вал; 9, 10 — воздуходувки; 11 — скребки; 12 — воздушные отверстия; 13 — кольцевая полость

Одна из барботажных конструкций, так называемая печь Катала, для сжигания малолетучих тяжелых топлив и других продуктов состоит из камеры 1 (футерованной или из жаростойкой стали), в которой расположена барботажная ванна 2 с перфорированным днищем 3 (рис. 1.10). Сжигаемый отход слоем 5-10 см заливают в ванну через впускной патрубок 5. Ванна отделена от стенки камеры перегородкой 12, образующей канал 13. Сверху камера закрыта куполом 10 из огнеупорного материала, окруженным воздушными рубашками 9 и 11. При работе печи через патрубок 4 подают предварительно подогретый газ (воздух). Он барботирует слой, перемешивая и газифицируя его. Окончательно топливно-воздушная смесь сгорает над слоем продукта в потоках «вторичного» и «третичного» воздуха, подаваемого в печь соответственно через патрубки 6 и 7. Газообразные продукты сгорания выходят из печи через горловину 8. В целом купол 10 выполнен в виде трубы Вентури, что способствует улучшению смесеобразования и полноте сжигания продукта.

Несомненно интенсифицируя процесс горения, барботажные установки имеют и недостатки: периодически зашлаковывается большое количество барботажных отверстий; образуются местные застойные зоны, в которых расслаивающаяся вода вскипает с выбросом пены; нестабильна работа печи из-за трудностей управления толщиной слоя.

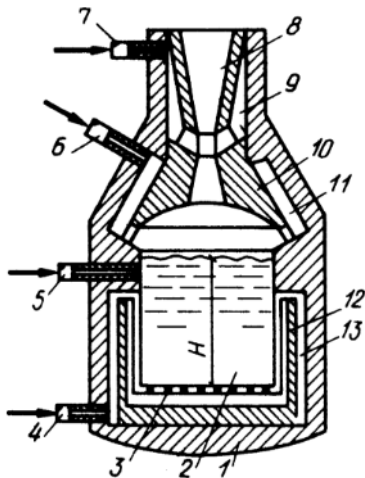


Рис. 1.10. Барботажная печь Катала (Австралия):

1 — камера сгорания; 2 — барботажная ванна; 3 — днище; 4 — воздушный патрубок; 5 — впускной патрубок; 6, 7 — патрубки; 8 — горловина; 9, 11 — воздушные рубашки; 10 — купол; 12 — перегородки; 13 — кольцевой канал

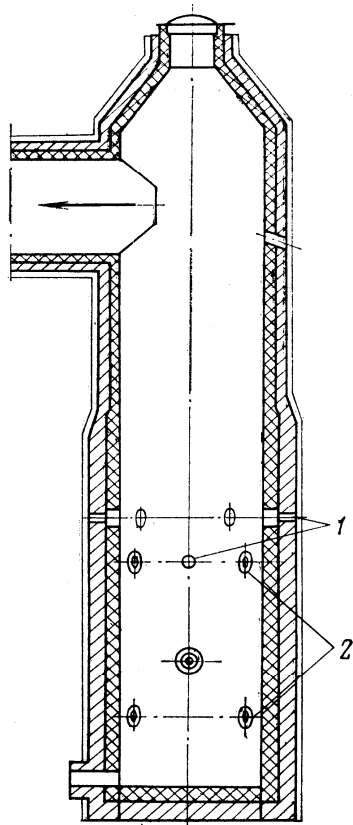


Рис. 1.11. Схема шахтной печи ГИАП:

1 — форсунки для подачи жидких отходов; 2 — горелки для жидкого и газообразного топлива

Перечисленных недостатков лишены *турбобарботажные* реакторы. Организация сгорания в них заключается в том, что тонкий слой жидкости приводится во вращательное турбулентное движение, например в

цилиндрической или узкой кольцевой камере, за счет направленной и рассредоточенной подачи к нему первичного воздуха с внутренней и наружной сторон камеры. Продукты газификации горючих жидких отходов турбулизируются и дожигаются вторичным воздухом, подаваемым выше барботажной ванны тангенциально с пересечением ее рабочего сечения. В указанных условиях слой топлива быстро прогревается и частично распыляется на более мелкие, чем при других способах, капли. Неиспарившиеся капли, вынесенные из слоя под действием центробежной силы, сепарируются на стенках камеры сгорания. Это исключает механическую неполноту сжигания. Процесс ведется при пониженном расходе первичного воздуха и большей его скорости при общем повышенном коэффициенте избытка дутья.

В России используют стационарные и передвижные турбобарботажные установки «Вихрь» производительностью до 10 т/ч при температуре сжигания 800-1100°С. Они снабжены системой утилизации тепла и очистки дымовых газов от аэрозолей и тумана жидких нефтепродуктов и смол (разд. 9.2.1).

Шахтные печи для огневого обезвреживания жидких и газообразных отходов представляют собой вертикальные цилиндрические камеры с горелочными устройствами в головной части для жидкого и газообразного топлива (рис. 1.11). Они эксплуатируются на некоторых химических предприятиях страны при удельных нагрузках печей 30-80 кг/(м³·ч). Различные модификации шахтных агрегатов применяются также за рубежом (ФРГ, Франция, США, Япония и т.д.).

Печи шахтного типа характеризуются низкими удельными нагрузками, что обуславливает их значительные габариты (высота до 20 м, внутренний диаметр 4 м и более) и большие капитальные затраты. В ряде случаев это делает неэффективным использование шахтных печей в чисто утилизационных технологиях. Однако эффективность переработки отходов резко возрастает при их подаче в шахтные печи в качестве одного из сырьевых компонентов при реализации промышленных технологий. Известна, например, утилизация пластмасс и ваграночных динксо-держающих пылей и шламов их вдуванием через фурмы соответственно в доменные печи и вагранки (Кн. 1).

1.5.2. Газификация и пиролиз

Известно несколько способов и аппаратов газификации отходов. Некоторые из них предусматривают переработку вторичного сырья с использованием расплавленных металлов и шлаков.

Фирма «Molten Technologies» создала процесс газификации сложных органических отходов, применяя расплавленный металл. Технологи-

гический реактор представляет собой герметичную емкость индукционного нагрева с огнеупорной футеровкой, вмещающую до 3-х т металла. Температура процесса 1650°C, производительность установки по отходам 22 тыс. т/год. Получаемый синтез-газ используют в производстве уксусной кислоты (Бельков).

Установки шахтного типа применяют для газификации остатков закалочных масел и ТБО (разд. 13.1.4.2).

Для переработки ТБО (разд. 13.1.4.1) опробован также барботажный способ плавки в жидкой ванне, разработанный в СССР и известный как «процесс Ванюкова», или процесс «Ромелт» (русская плавка).

Газификация в кольцевой камере сгорания и в сосудах, работающих под давлением, внедрена за рубежом (A process to...).

Процессы пиролиза отходов более распространены, чем газификация. Известно свыше 50 вариантов пиролиза, отличающихся видом вторичного сырья, температурой и конструктивными решениями технологических схем переработки.

Из оборудования в индустриальных технологиях пиролиза используют барабанные, шахтные и электрические печи. В утилизационных технологиях применяют многокамерные и шахтные агрегаты.

Многокамерные печи благодаря их простоте, надежности и легкости регулирования режимов горения встречаются чаще. Их стальной корпус изнутри футерован термостойким материалом. Твердые отходы или частично обезвоженный ил подаются в печь сверху, зола разгружается снизу. Рабочая температура в первой камере составляет обычно 800-900°C, возрастая до 1100°C в последующих. Ее необходимый уровень поддерживается в автоматическом режиме зональными горелками или форсунками. Используемые конструкции позволяют перерабатывать отходы в любом агрегатном состоянии, однако влажность твердых материалов не должна превышать 60%.

Одна из шахтных конструкций, применяемых в США при высокотемпературном пиролизе в утилизационном процессе «Торракс», принимает куски размером до 1 м (рис. 1.12). Высота ее до 15 м, внутренний диаметр около 3 м, производительность до 200 т/сут. В ней перерабатывают ТБО и близкие к ним по составу промышленные отходы, старые автомобильные покрышки, обезвоженные остатки сточных вод, отходы медицинских учреждений и т.п.

Отходы периодически загружаются в верхнюю часть реактора Торракс. Опускаясь вниз, они последовательно проходят зоны сушки, пиролиза, первичного сгорания и плавления. Горючий газ, поднимаясь по шахте вверх, попадает в кольцеобразный канал, откуда вместе с паром отсасывается вентилятором. Его основные компоненты — водород, оксид углерода, метан и азот, теплотворная способность составляет

6700-10500 кДж/м³. Часть газа (10-15%) используется для подогрева воздуха, подаваемого в реактор. Остальное его количество поступает потребителю (в виде газообразного топлива или пара). Твердые продукты пиролиза (коксовый остаток и инертные материалы), продвигаясь вниз, окисляются до оксидов углерода или ожижаются в зоне плавления с температурами до 1650°С. Жидкий шлак выпускается через донное отверстие, подвергается водной грануляции и используется в промышленном строительстве.

В настоящее время пиролизные агрегаты достаточно производительны. Так, на заводе фирмы «Siemens» в Фюрте (ФРГ) имеется промышленная барабанная установка мощностью 100 тыс. т/год отходов по схеме низкотемпературного пиролиза (450°С). Получаемые продукты: масла, сухие горючие газы, пар, керамические материалы, металлы (разд. 13.1.4.2).

В табл. 1.9 приведены эколого-экономические показатели некоторых установок и технологий утилизации углеродсодержащих отходов. Они

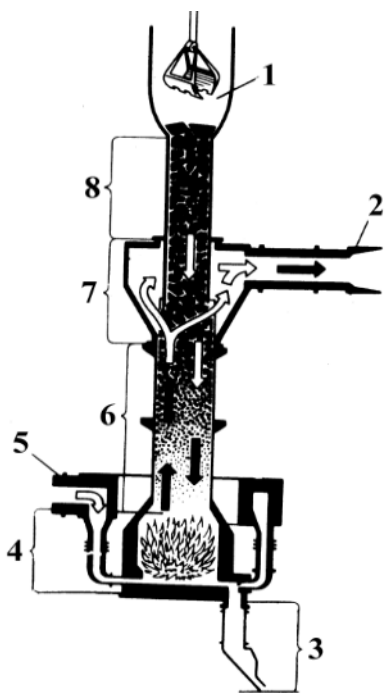


Рис. 1.12. Реактор высокотемпературного пиролиза Торракс:

1 — загрузка отходов; 2 — выход горючего газа; 3 — удаление и охлаждение шлака; 4 — зона сжигания и плавления; 5 — подача горячего воздуха в зону горения; 6 — зона пиролиза; 7 — зона сушки; 8 — загруженные отходы

Таблица 1.9

Эколого-экономические показатели установок и технологий термической утилизации углеродсодержащих отходов (Бельков)

№ п/п	Наименование установок/технологии обезвреживания отходов	Производительность, т/ч	Стоимость обезвреживания, дол.	Капазраты, дол./1 т утилизируемых отходов	Срок окупаемости, лет		Степень очистки	
					Без оплаты обезвреживания	С оплатой обезвреживания	От углеводородов	От солей тяжелых металлов
1	Печь сжигания (Нью-Джерси, США)	4,0	60-100	1300	∞	3-4	< ПДК	Н/о
2	Печь сжигания «Вихрь» (Россия)	1,0	25-40	450	∞	2	> ПДК	То же
3	Вращающаяся печь (Waste Utilization Tech-Nol., США)	1,0	100-200	1600	∞	2-3	> ПДК	– –
4	Вращающаяся печь (Duron, Франция)	0,5	100-200	1600	∞	2-3	То же	– –
5	Печь с псевдоожиженным слоем (Dort-Oliver GmbH, Германия)	50,0	100-200	4000	∞	4-6	– –	– –
6	Печь газификационная с каталитическим блоком (Берлин, Германия)	5,0	0	1600	2-3	–	– –	– –
7	Печь газификационная (Molten Metal Technol, США)	3,0	0	1100	2	–	– –	< ПДК
8	Печь РОМЕЛТ (Россия)	1,0	0	300	1	–	> ПДК	< ПДК
9	Печь газификационная (сверхadiaбатного горения), Россия	4,0	0	190	1	–	< ПДК	Н/о
10	Печь пиролизная (Alfa Laval, Австрия)	2,5	50-70	147	∞	1,5-2	< ПДК	То же
11	Печь пиролизная OFS (Германия)	1,0	0	200	4-7	–	То же	– –
12	Печь пиролизная (Map Guten.AG, Германия)	0,5-2,5	0	150	3-4	–	– –	– –
13	Печь пиролизная (ВНИИЖТ, Россия)	0,05	0	125	2-3	–	– –	– –
14	Инсинераторы ASI 402, ASWI 402, ASWI 402 AS фирмы ATLAS (Дания)	0,1	500	1500	∞	4	> ПДК	– –

Примечание. Н/о – не обезвреживает

отражают широкий спектр производительности (0,05-50 т/ч), стоимости переработки (0,0-500 дол./т отходов), капитальных затрат (21-4000 дол./т) и эффективности очистки различными устройствами. Чисто номинально наименьшие стоимость и капитальные затраты имеют российские установки. Необходимо учитывать, однако, что они носят демпинговый характер по отношению к издержкам зарубежных производителей, учитываемым по мировым ценам. Известно, в частности, что конкурентоспособность российского производства на мировых рынках в значительной степени поддерживается за счет весьма низкой оплаты труда. Так, в США она превышает российскую не менее чем в 10 раз. Затраты, связанные с ликвидацией загрязнения окружающей среды, в России, по оценке автора, природоохранными платежами покрываются лишь на несколько процентов в отличие от практически полного учета природоохранных издержек в стоимости продукции западных стран. Эти и другие особенности формирования затрат в российской и зарубежной экономиках необходимо учитывать при выборе технологий и оборудования отечественного и иностранного производства.

1.6. Недостижимость безотходных технологий

Очевидно, что из всех возможных направлений обращения с отходами наиболее предпочтительна их переработка (утилизация), особенно в рамках создания малоотходных технологий. Однако в ряде учебных и научно-технических изданий утвердилось также понятие о «безотходных технологиях» (Б.Н.Ласкорин, А.П.Цыганков, П.П.Пальгунов, В.А.Вронский, С.В.Белов и др.). Вместе с тем представление о безотходных технологиях не более, чем фантом. Ввиду особой гносеологической важности вопроса о реализуемости безотходных технологий остановимся на нем подробнее.

Термин «безотходная технология» впервые предложен единственным советским и российским лауреатом Нобелевской премии по химии акад. Н.Н.Семеновым и акад. И.В.Петряновым-Соколовым. Выдающиеся ученые использовали образное выражение, чтобы придать сильную эмоциональную окраску одному из основных направлений природопользования, обеспечить ему внимание и поддержку. Постепенно первоначальный смысл «безотходных технологий» отошел на задний план. Легко внушаемые адепты научных корифеев поняли и приняли эмоциональную формулировку «отцов-основателей» буквально.

Малоотходная технология рассматривается при этом как промежуточная ступень при создании безотходного производства. Отмечается, что при малоотходном производстве вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допускаемого санитарными органами, но по техническим, экономическим, организационным или другим при-

чинам часть сырья и материалов переходит в отходы и отправляется на длительное хранение или захоронение (Охрана... 1991).

Однако, наряду с представлениями о реальности создания безотходных технологий, часть специалистов по-прежнему понимает невозможность реализации этого намерения. В частности, Н.Ф.Реймерс отмечает, что достижение полной безотходности нереально, так как противоречит второму закону термодинамики. Термин «безотходность», по Н.Ф.Реймерсу, условен, метафоричен. Он же отмечает, что добиться малого количества энергетических отходов, а тем более энергетической безотходности невозможно даже теоретически, поскольку поток энергии однонаправлен и все ее количество в конечном счете переходит в тепло (Реймерс... 1992 г.).

Разовьем точку зрения о недостижимости безотходных технологий.

Мысль о создании безотходных технологий, действительно, противоречит второму началу термодинамики, допуская реализацию *вечного двигателя второго рода*. Под ним понимают такую периодически действующую машину, работа которой производилась бы только за счет охлаждения источника тепла, без каких-либо изменений в других телах. В согласии с этим принципом, тепло не только передается от тела с высокой температурой (теплоотдатчика) к телу с более низкой температурой (машине) с превращением в работу. Одновременно машина часть тепла выбрасывает в окружающую среду (теплоприемник, или холодильник). Следствием этого является КПД η машины менее 100%. В соответствии с циклом Карно он составляет:

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \cdot 100, \% \quad (1.3)$$

где T_2 — температура рабочего тела машины, К; T_1 — температура холодильника, К.

При теоретической недостижимости T_1 , равной абсолютному нулю, КПД не может составить 100%. Реальные его значения гораздо ниже и равны, например, для паровоза 8%, для энергетических установок — на уровне 50% и т.д. Таким образом, даже теоретически невозможно исключить тепловые потери и связанные с этим затраты части топлива. Эти потери есть принципиально неустранимый отход любой, без исключения, технологии.

Только одного термодинамического запрета на создание безотходных технологий достаточно для отказа от этого понятия как неосуществимого. Однако имеются и другие, менее строгие (на уровне здравого смысла) аргументы против возможности реализации безотходных технологий.

Одним из таких аргументов являются социально-эколого-этические ограничения. Очевидно, что отходы производства и потребления на

конкретном этапе развития науки и техники далеко не всегда можно эффективно переработать в товарный продукт. Часто это или экологически опасно, или социально не приемлемо. В последнем случае не сложно, например, представить, что если бы общество считало это этически возможным, то трупы подвергали бы более экономически и экологически целесообразной переработке на мыло и изделия из кожи, а не захоронению. Об этом, кстати, свидетельствует нацистский опыт Германии в отношении узников концлагерей.

Второй аргумент заключается в том, что структура товарной продукции не соответствует структуре отходов. Кларки (содержание элементов в земной коре) показывают, что кислород (49%), кремний (28%), алюминий (8%) составляют до 85% всей ее массы. Содержание первых 9 по кларкам элементов (дополнительно к указанным — железо, кальций, натрий, калий, магний, титан) достигает в земной коре 99,6%. На долю других 80 с лишним дотрансурановых элементов, основы современной цивилизации, приходится не более 0,4%, включая углерод органических топлив. Следовательно, подавляющая часть отходов — это песчано-глинистые вещества (выход свыше 100 млрд т/год), которые в столь гигантских количествах человечеству не требуются. Основная область их применения — производство строительных материалов, мировой выпуск которых не превышает 11 млрд т/год. Более чем 10-кратное относительное увеличение человеком потребления песчано-глинистых материалов потребовало бы использования, взамен имеющейся, новой материальной базы существования человечества на Земле, возможно, за счет деградации ныне известной его формы.

Очевидно также, что установки, призванные перерабатывать отходы какого-либо производства, создают свои собственные отходы, для использования которых необходима новая установка, на которой также будут образовываться отходы, и т.д., до дурной бесконечности (по Ф.Энгельсу).

И последнее. Во все времена определенное количество продуктов одной стадии материального производства будет экономически целесообразным использовать в качестве сырья, материалов, полуфабрикатов на других стадиях производства. Таким образом, мечта о полной переработке отходов несостоятельна и экономически.

Абсурдность буквального понимания возможности достижения безотходных технологий становится столь явной, что нелепо и далее иметь в этом вопросе фигуру умолчания. Однако признание очевидного противоречия широко разрекламированного понятия фундаментальному термодинамическому принципу требует известного научного мужества. Отход от скомпрометированного понятия осуществляется исподволь.

В настоящее время, в соответствии с решением Европейской экономической комиссии ООН и Декларацией о малоотходных и безот-

ходных технологиях и использовании отходов, принята следующая формулировка, предложенная советскими специалистами: «*Безотходная технология* есть практическое применение знаний, методов и средств, с тем чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду». Трактовка данной формулировки сводится к тому, что при безотходном производстве не должно происходить выбросов в окружающую среду, необходимо максимальное и комплексное использование сырья, достигается теоретически возможный минимум отходов всех видов и т.п.

Таким образом, безотходное производство по сути своей заменяется рациональным, максимально возможным комплексным использованием сырья и энергии при минимуме (т.е. при наличии — прим. авт.) отходов.

В последние годы наряду с понятиями безотходного и малоотходного начинают использовать понятие «экологически чистое производство» (ЭЧП). В соответствии с программой Организации ООН по промышленному развитию (ЮНИДО), принятой в 1992 г., а также конференцией по ЭЧП в Оксфорде (1996 г.), экологически чистое производство — это «непрерывное использование совокупной превентивной стратегии защиты окружающей среды от процессов и изделий с целью снижения рисков для человека и окружающей среды» (Юсфин...).

Применительно к *производственным процессам* ЭЧП означает сокращение материальных и энергозатрат, исключение из переработки токсичных сырьевых материалов, уменьшение количества и уровня токсичности всех выбросов и отходов еще до их выхода из производственного процесса. Применительно к *продукции* ЭЧП характеризуется уменьшением негативного воздействия изделия в течение всего его жизненного цикла.

На Западе эксперты сравнивают предлагаемые технологии с ВАТ (best available technology) — лучшей из доступных технологий. Существуют также показатели ВРТ (best possible technology) — лучшей из возможных технологий. Таким образом, в основу оценок ЭЧП заложен уровень приемлемых в настоящее время, а также лучших из достигнутых в производстве показателей.