

# **Классификация утилизационных технологий переработки отходов**

д.т.н., проф. Лотош В.Е.

Предложена логически обоснованная классификация технологий переработки отходов. Автор полагает, что она позволит более объективно выявлять работы оригинального характера, снизит интерес издателей и читателей к эпигонским публикациям.

## **Classification of utilization technologies for waste processing**

by d.t.s., prof. V.E.Lotosh

Logically substantiated classification of technologies of waste processing is proposed. Author thinks this classification will let to discover original works more fairly, to reduce an interest of publishers and readers in epigon's publications.

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 создают, 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 акту-

альной 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 совместно с первичным сырьем по схемам и на оборудовании, предназначенном для этого 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 преимущественное распространение в процессах специальной 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*.

Описание индустриальных технологий и их оборудования традиционно составляет основу учебной и научно-технической литературы, рассматривающей какую-либо отрасль материального производства. Их классификации по многим признакам (непрерывные и периодические; гидро- и пирометаллургические; протекающие в твердой фазе или расплаве; физические, химические и т.д.) давно сложились, логически непротиворечивы и не вызывают неоднозначного толкования при использовании.

Иное положение с утилизационными технологиями. Их классификации зачастую алогичны. На одном уровне деления можно встретить такие разноуровневые понятия, как методы механические и химические, химические и термические, электромагнитные и тепловые и т.п. Нередко не замечают синонимический характер понятий, и их используют как разные по значению, например «инфракрасная» и «тепловая» обработка. Зачастую не учитывают или не имеют представлений о различиях понятий, принимая, в частности, технологию газификации отходов за пиролизную.

Изложенное диктует как необходимость разработки классификации утилизационных технологий, так и максимального ее сближения с принятыми для индустриальных технологий [1].

Для классификации может быть принято неограниченное количество признаков. Однако представляется, что наиболее фундаментальна классификация по характеру превращений в веществе, обеспечивающих переработку отходов.

По этому признаку все процессы переработки и обезвреживания отходов можно разделить на физические, химические, физико-химические, биохимические и комбинированные [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 обогащения, 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 вторичные энергетические ресурсы 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 паровоздушном дутье, вследствие значительного содержания азота имеет низкую (3,5-

6 МДж/м<sup>3</sup>) теплоту сгорания. Он обычно используется по месту получения в низкотемпературных технологических процессах. Газ паро-кислородной конверсии более калориен (до 16 МДж/м<sup>3</sup>), поэтому может применяться как технологическое топливо для высокотемпературных печей и транспортируется на значительные расстояния от газогенераторной станции. Он является также ценным химическим сырьем (содержание Н<sub>2</sub> 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. Его используют при сухой перегонке древесных отходов, переработке резино-технических изделий, нефтепродуктов и т.д.

В зависимости от температуры реализации различают три вида пиролиза: низкотемпературный, или полукоксование (не более 450-550°С); среднетемпературный, или среднетемпературное коксование (до 800°С); высокотемпературный, или коксование (900-1050°С). 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, хлорорга-

ники, нефте- и радиоактивных отходов. Комплексообразователями служат неорганические вяжущие типа портландцемента, 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 в утилизационных способах 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 [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. *Конечным 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.

Можно полагать, что предложенная классификация, как и любая другая из научно обоснованных, позволит более объективно оценивать оригинальность и научно-техническую новизну теперь уже весьма многочисленных публикаций по переработке и утилизации отходов, поможет привлечь внимание к работам, содержащим действительно новую информацию, снизит интерес издателей и читателей к произведениям эпигонского характера.

30.08.2002

Лотош Валерий Ефимович, д.т.н., профессор

### **Литература**

1. Лотош В.Е. Технология основных производств в природопользовании. – Екатеринбург: Из-во Ур. гос. эконом. ун-та, 1998. – 536 с.
2. Лотош В.Е. Экология природопользования. Из-во Ур. гос. эконом. ун-та, 2000. – 540 с.