**УДК 628.47**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВОПРОСАМ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

**В.П. Ткаченко[[1]](#footnote-1), Е.В. Янчуковская[[2]](#footnote-2)**

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Актуальность данной работы обусловлена проблемой образования больших масс твердых бытовых и промышленных отходов. Решением этой проблемы может стать анализ современных подходов к вопросам их утилизации, что позволит получить новую отрасль промышленности – коммерческую переработку отходов. Показаны достоинства и недостатки различных методов, предложены критерии для оценки применяемых технологий. В качестве перспективного метода утилизации рассматривается пиролиз – термическое разложение углеродсодержащих компонентов массы твердых бытовых отходов.

Ключевые слова: *отходы; экологический ущерб; утилизация; переработка; методы; пиролиз.*

**MODERN APPROACHES TO THE ISSUE OF RECYCLING OF SOLID HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL WASTE**

**V. Tkachenko, E. Yanchukovskaya**

Irkutsk National Research Technical University,

83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074

The relevance of this work is due to the problem of education of large masses of solid household and industrial waste. The solution to this problem could be the analysis of modern approaches to their disposal, which will allow obtaining a new industry – commercial recycling. The article reveals advantages and disadvantages of different methods, and criteria for evaluation of the technologies. Pyrolysis (thermal decomposition of carbonaceous components of the MSW mass) is considered as a promising method of disposal–.

*Keywords: waste; environmental damage; disposal; recycling; methods; pyrolysis.*

Жизнедеятельность всего человечества в целом неизбежно связана с образованием твердых бытовых от­ходов (ТБО). ТБО – это огром­ные массы влажного (до 50 %) дурнопахнущего городско­го мусора, который необходимо упорядоченно собирать и вывозить за пределы населенных пунктов на специальные свалки и полигоны.

Уровень накопления ТБО – 0,3–0,5 т/чел. в год. Плотность твердых бытовых от­ходов обычно составляет 0,2–0,3 т/м2. Например, в промышленных городах центральной части России количество отходов на душу населения – 270 кг в год, а в развитых европей­ских странах, таких как Германия, Италия и Вели­кобритания, – 450, в Авст­рии и Финляндии – свыше 630 кг в год. Доля населе­ния в образовании ТБО со­ставляет 72 %, туристов – 8 %, а 20 % приходится на коммерческий сектор и лег­кую промышленность.

Ежегодно на пред­приятиях Российской Федерации образуется около 93 млн тонн токсичных промышленных отходов (ПО), из которых 90 млн тонн относят­ся к III и IV классам опасности. Количество от­ходов потребления ежегодно возрастает в России на 30 млн тонн.

Последние годы нефтешламы – отходы II класса опасности – не принимаются на захо­ронение из-за переполнения полигонов. Нефтеперерабатывающие заводы, нефтебазы, локомотивные и вагонные депо железнодорожной отрасли вынуждены на­капливать нефтешламы в специальных бетони­рованных хранилищах. Строительство новых хранилищ и накопление нефтешлама в старых носило стихийный характер, поэтому оценить накопленное количество таких отходов не пред­ставляется возможным, их масса может достигать и десят­ков, и сотен миллионов тонн.

Существуют два пути решения проблемы твердых бытовых и промышленных отходов: переработка, утилизация. Эти термины являются практически синонимами, однако предполагают достижение различных результатов.

При переработке и утилизации используется множество методов – химические, биологические, физико-химические и термические [1].

По-прежнему активно используется такой метод утилизации, как захоронение. Но при этом скопления ТБО негативно влияют на окружающую среду через воду и воздух. При гниении выделяются вредные вещества, а подземные воды выходят на поверхность и отравляют питьевую воду.

Химические методы обезвреживания жид­ких и твердых нефтесодержащих отходов за­ключаются в добавлении к нейтрализуемой мас­се химических реагентов. В зависимости от типа химической реакции реагента с загрязнением происходит осаждение, окисление-восстанов­ление, замещение, комплексообразование. Недостатком данных методов является неустойчивость некоторых реагентов к атмосферной и грунтовой влаге, к быстрым изменениям температуры.

Биологические методы обезвреживания ПО и ТБО находят все более широкое применение в России и особенно за рубежом. Они осно­ваны на способности различных штаммов мик­роорганизмов в процессе жизнедеятельности разлагать или усваивать в своей биомассе мно­гие органические загрязнители. Но в процессе био­обезвреживания происходит вторичное загряз­нение атмосферного воздуха продуктами гние­ния клеток микроорганизмов – сероводородом и аммиаком.

Биологическая очистка чаще всего исполь­зуется для нейтрализации органических токси­кантов и тяжелых металлов, а также азотных и фосфорных соединений в почвах и грунтах. Био­логические методы можно условно подразделить на следующие: микробиодеградациязагрязнителей, биопо­глощение и перераспределениетоксикантов.

Физико-химические методы образуют наи­более представительную группу методов обез­вреживания ПО и ТБО. При создании физиче­ских полей в пористых средах начинает проте­кать одновременно множество физико-хими­ческих процессов.

При наложении поля напря­жений загрязненная масса интенсивно перемешивается и происходит очистка ее частиц от поверхностных загрязнений.

Гидродинамическое воздействие на обезвреживаемую массу сопровождается суффозией, выщела­чиванием, адсорбцией, диффузией и выносом загрязнений из порового пространства грунтов.

Перспективен метод сверхкритической экс­тракции углекислым газом органических загрязнений.

Постоянное электрическое поле, приложен­ное к водонасыщенной среде, вы­зывает протекание электрохимических и элек­трокинетических процессов. К электрохимиче­скимотносятся электролиз, электро­флотация, электрокоагуляция, электродеструк­ция, электрохимическое обеззараживание, ион­ный обмен, электрохимическое окисление и вы­щелачивание, электродиализ, а к электрокинетическим– электроосмос, электрофорез и элек­тромиграция.

Электролизпорового раствора загрязненных сред – это окислительно-восстанови­тельный процесс, в результате протекания кото­рого происходит разложение химических соеди­нений. Он используется для очистки массы от микроорганизмов и называется электрохимиче­ским обеззараживанием. Эффективность метода составляет до 99 %.

При электрофлотацииудаление нефтепро­дуктов происходит пузырьками газа, образую­щимися при электролизе и поднимающимися к поверхности.

Электрокоагуляция – это процесс агрегации микрочастиц минерального происхождения и органических молекул. В методе электрокоагу­ляции используют железные и алюминиевые электроды, при растворении которых образуют­ся гидроксиды, адсорбирующие загрязнения и выпадающие затем в осадок.

Электрохимическое окислениеприменяется для очистки масс от хлорированных углево­дородов и фенола. Эффективность окисления фенола – 70–92 %.

Электрохимическое выщелачивание–это метод очистки, основанный на выщелачивании загрязнений или переводе тяжелых ме­таллов в подвижную форму. Однако метод требует внесения дополнительных химических реа­гентов.

Электродеструкцияосуществляется при электрохимическом разложении токсичных ор­ганических соединений на электродах с образо­ванием нетоксичных веществ. Преимущество метода – в низкой стоимости и высокой эффек­тивности.

При электродиализепорового раствора массы происходит очистка от загрязне­ний в коллоидной форме, обессоливание в сред­ней части межэлектродного пространства.

Электрокинетические методыначали ши­роко применяться с 60-х годов XX в. Электрокинети­ческие явления, наблюдающиеся в пористых средах при протекании постоянного электриче­ского тока, подразделяются на электроосмос и электрофорез.

При электроосмосе ионы, содержащиеся в жидкости, перемещаются относительно непод­вижной заряженной поверхности минеральных частиц, увлекая при этом загрязнения в растворенном или жидком состоянии. При протекании электрофорезав поровом пространстве, заполненном полностью или частично водой, перемещаются минераль­ные частицы. Это явление играет крайне незна­чительную роль в электрокинетическом перено­се загрязнений в диссоциированной форме, но определяющую в переносе коллоидных и заря­женных минеральных частиц. Электрофоретическое перемещение коллоидных частиц и микрочастиц наблюдается в макропористых средах.

Под действием напряжения, приложенного к электродам, которые погружены в скважины, вода и экотоксиканты в коллоидном состоянии перемещаются к электродным резервуарам, из которых затем вода с загрязнениями извлекается на поверхность и очищается одним из физико-химических методов. Эффективность очистки может достигать 99 %.

Отдельную группу составляют электромаг­нитные методы, основанные на термическом эффекте при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом.

В сверхвысокочастотных полях происходит быстрый и равномерный прогрев, при этом протекают дегидратация, диссоциация кар­бонатов, окисление и даже плавление. Десорбирующиеся органические соединения обезврежи­ваются, например, каталитическим методом.

Обезвреживание ПО и ТБО с помощью ультрафиолетового (УФ) и лазерного излученияотно­сится также к электромагнитным методам. Ак­тивация ароматических молекул данными видами излучений приводит к диссоциации молекул с образованием радикалов и активных комплек­сов, к быстрому окислению и полимеризации.

Для очистки масс от нефте­продуктов эффективен ультразвук.Начиная с критического значения звукового давления акустических волн в жидкости возникает кавитация. При схлопывании кавитационных полостей образующиеся микроструи с линейными скоростями 300–800 м/с срывают с поверхности твердых частиц нефтяные загрязнения. Эффективность очистки может достигать 99,5–99,8 %. При кавитацион­ных разрывах жидкости происходит ионизация и активация молекул, что стимулирует окисление и полимеризацию углеводородных молекул.

К термическим методамобезвреживания отходов относятсягазификация, сжигание и пи­ролиз.

Газификация ТБО происходит при температурах 600–1100 °С в атмосфере газифицирующего аген­та. В результате реакции об­разуются синтез-газ и туман из жидких смолистых веществ, бензпирена и диоксинов. Зола может содержать остаточный углерод и соли тяжелых металлов, растворимые в воде.

Сжигание отходов – самый примитивный способ утилизации. В результате сгорания органической части образуются диоксид углерода, пары воды, оксиды азота и серы, аэрозоль, оксид углерода, бензпирен и диоксины.

Пиролиз – процесс термического разложения углеродсодержащих компонентов и органических соединений, составляющих до 85 % всей массы ТБО, под действием высоких температур при отсутствии или недостатке кислорода.

Пиролиз нефтесодержащих отходов проводят при температуре 600–800 °С с вакуумированием реактора. При этом протекают реакции коксо- и смолообразо­вания, разложения высокомолекулярных соеди­нений на низкомолекулярные, жидкую и газооб­разную фракции, а если углеводородные отходы содержат серу, то образуются также сероводород и меркаптаны. Оксиды азота и серы практически не образуются.

Данный процесс – надежное средство, чтобы остановить рост свалок ПО и ТБО, не загрязняя атмосферу. Основное преимущество пиролиза в том, что при его протекании хлоросодержащие полимеры разлагаются, и ответственный за образование диоксинов хлористый водород связывается в термостойкие минеральные соли. Образующийся же пирогаз направляется на дальнейшую переработку в жидкое топливо или сжигается в энергоустановках (при сжигании пирогаза диоксиновый дым не образуется).

На основании проведенного анализа проблемы промышленной утилизации ТБО можно сделать вывод, что рассмотренные способы не являются универсальными и решают лишь проблему ликвидации отходов. При этом последние рассматриваются как бесполезное вещество, загрязняющее окружающую среду. В лучшем случае отходы используются как сырье для получения энергии (методы сжигания) либо топлива (методы пиролиза) или для компостирования.

Все рассмотренные подходы являются ба­зой для уже созданных технологий обезврежи­вания ПО и ТБО или технологий, разрабатывае­мых в настоящее время. Каждый метод обезвре­живания отходов и технология на его основе имеют определенную нишу, то есть совокуп­ность физико-химических параметров отходов и возможностей метода, оптимальное сочетание которых позволяет достичь наибольшей прибы­ли или минимальных затрат на обезвреживание определенного вида отходов при наименьшем экологическом ущербе природе.

В связи с вышеперечисленым возникла потребность в поиске оптимального, энергоэкономного и экологически безопасного решения утилизации отходов.

Учитывая возрастающую нагрузку на биосферу, ограниченность природных ресурсов и невосполнимость природного нефтяного сырья, отходы необходимо рассматривать как комплексное вторичное органо -минеральное сырье, которое следует вовлекать в промышленный и хозяйственный оборот. Использование таких ресурсов с максимальной эффективностью создаст возможность вместо гор мусора получить новую отрасль промышленности – коммерческую переработку отходов.

Перспективным методом переработки ТБО и ПО может оказаться пиролиз [2].

Основной мировой тенденцией решения проблемы глубокой промыш­ленной переработки вторичных органо- минеральных ресурсов, содержащихся в твердых бытовых отходах, является создание термических низкотемпературных (окислительный пи­ролиз), высокотемпературных (пиролиз-газификация) и комбинированных про­цессов термодеструкции органических компонентов отходов. Это находит отражение в методах комплексного рециклинга отходов – комбинированного способа обращения, включающего их сортировку (сепарацию), ферментацию, пиролиз, позволяющего получить полезную и конкурентоспособную продукцию.

Процесс пиролиза ТБО обладает технологическими преимуществами перед традиционными методами утилизации (сжигания, захоронения и компостирования). Существуют проекты уничтожения бытового [мусора](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B2%D1%91%D1%80%D0%B4%D1%8B%D0%B5_%D0%B1%D1%8B%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BE%D1%82%D1%85%D0%BE%D0%B4%D1%8B) с помощью пиролиза, но в России опыт пиролиза отходов базируется на технологиях, не обладающих надежностью.

Затруднения с организацией утилизации [шин](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0), [пластмасс](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D1%8B) и других органических отходов данным способом состоят в том, что в большинстве отходов содержится [фосфор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80), [хлор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%BB%D0%BE%D1%80) и [сера](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B0), которые в окисленной форме являются легколетучими высокотоксичными химическими соединениями. Улавливание этих соединений из [дыма](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%8B%D0%BC) представляет собой сложный дорогостоящий технологический процесс. Кроме того, традиционные методы создания высоких температур в пиролизных реакторах часто не являются выгодными в технологическом и экономическом отношении. Основной задачей является снижение затрат энергии на нагрев до рабочих температур и проведение пиролиза. Поэтому актуален вопрос привлечения дополнительных источников энергии.

Становится необходимой рационализация методов обращения с отходами. Наиболее важными представляются следующие аспекты, касающиеся технологии утилизации ТБО [3]:

* она должна максимально уменьшить объем отходов, подлежащих захоронению на полигонах, и максимально сократить уже захороненные массы, подвергающиеся естественным процессам разложения в окружающей среде;
* данная технология должна обладать низкой капиталоемкостью, предполагать относительно низкие эксплуатационные затраты, иметь малую энергоемкость;
* она должна отвечать современным экологическим и технологическим требованиям;
* технология должна быть универсальной (перерабатывать жидкие и твердые отходы);
* она должна соответствовать законодательным требованиям, а именно нормам предельно допустимой концентрации;
* данная технология должна приводить к рециклингу (рекуперации) вторичного минерального сырья либо к получению конечных ценных продуктов, реализация которых позволит окупить вложенные инвестиции и превратить сферу обращения с отходами в вид рентабельной деятельности.

**Библиографический список**

1. Шубов Л.Я. Проблема муниципальных отходов и рациональные пути ее решения // Экология и промышленность России. 2005. № 1. C. 34–39.

2. Коровин И.О., Медведев А.В., Багабиев Р.Р. Перспективы пиролизной утилизации твердых бытовых отходов // Известия вузов: Нефть и газ. 2004. № 3. C. 112–118.

3. Гунич С.В., Янчуковская Е.В., Днепровская Н.И. Перспективы развития пиролитической технологии переработки органических компонентов твердых бытовых отходов в моторное топливо // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 2. C. 124–128.

1. Ткаченко Валентина Павловна, магистрант гр. ОХПм-16-1 Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, e-mail: [valentina\_irnitu@mail.ru](mailto:valentina_irnitu@mail.ru)

   Tkachenko Valentina, a postgraduate of Metallurgy and Chemical Technology Institute named after S.B.Leonov,

   e-mail: valentina\_irnitu@mail.ru [↑](#footnote-ref-1)
2. Янчуковская Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии,

   e-mail: lenyan@istu.edu

   Yanchukovskaya Elena, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Chemical Technology Department, e-mail: lenyan@istu.edu [↑](#footnote-ref-2)