

УДК 504.06

Г.Т. Армишева

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ ПОЛИМЕРНЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Благодаря своим высоким потребительским свойствам доля полимерных материалов в производстве упаковки ежегодно возрастает. Большая часть этих материалов, отслужив короткое время, направляется на свалки. Захоронение пластмасс в составе ТБО не является выходом из проблемы, так как большинство из них разрушается очень медленно. Стехиометрическая модель процесса разложения пластмасс на примере полиэтилентерефталата (ПЭТФ) позволила установить, что с точки зрения краткосрочных эмиссий в атмосферу их вклад не существен. Однако с точки зрения долгосрочных эмиссий он может составлять более 20 %. Одним из перспективных направлений утилизации пластмасс может оказаться их использование в качестве нерудного топливного материала. Это позволит одновременно решать две задачи: снизить объем эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду и получать энергию, экономя природные топливные ресурсы.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, отходы пластмасс, свалка, захоронение, утилизация, ресурс, топливо.

Конец XX в. и начало XXI в. характеризуются ростом уровня жизни, увеличением ее продолжительности, ускоренным приростом населения планеты, а также развитием так называемой экономики потребления, на практике приводящие к формированию все новых потребностей, возникающих спонтанно или формируемых искусственно. В этот период начинается стремительный рост производства тары и упаковки. На сегодня практически нет ни одного товара, который в своем движении от производителя до потребителя не имел бы тару и упаковку. В одних случаях просто невозможно обходиться без упаковки, в других – ее целесообразность predetermined весьма весомыми причинами: с одной стороны, ее наличие позволяет снизить потери производимого продукта (до 3–5 %, в то время как у стран с отсталым тароупаковочным хозяйством эти потери могут достигать 50 %), с другой стороны, упаковка является своеобразным показателем развития сферы услуг и качества жизни. Поэтому на производство упаковочных материалов в мире рас-

ходуется все больше и больше финансовых и материальных средств. На рис. 1 представлены используемые в быту изделия из синтетических полимерных материалов (пластмасс).



Рис. 1. Некоторые предметы быта, полностью или частично сделанные из пластмассы

По оценкам западных специалистов производство упаковочных материалов ежегодно возрастает примерно на 5–6 %. При этом доля полимерных материалов в них увеличивается, поскольку благодаря своим высоким потребительским свойствам они все больше и больше вытесняют такие традиционно используемые ранее материалы, как стекло, металл, древесина. На сегодняшний день объем производства бутылочной тары из полиэтилентерефталата по РФ превышает 200 тыс. т.

Несмотря на то, что Россия (по сравнению с другими странами) характеризуется сравнительно невысоким уровнем производства и потребления полимерных материалов, общее образование данного вида отходов в России составляет значительную величину – около 3,3 млн т в год [1]. Наиболее популярным пластиком является полиэтилен, в связи с чем отходы из этого материала составляют большую часть в структуре полимерных отходов. По оценке Научно-исследовательского центра по проблемам ресурсосбережения и отходам, в структуре образующихся полимерных отходов можно выделить 6 основных наименований: полиэтилен – 34 %; полиэтилентерефталат (ПЭТФ) – 20,4 %; ламинированная бумага – 17 %; поливинилхлорид (ПВХ) – 13,6 %; полистирол – 7,6 %; полипропилен – 7,4 %. По оценкам специалистов, сегодня в России перерабатывается лишь незначительная часть этих отходов (средний уровень сбора и переработки не превышает 13 %).

Разработанная международным сообществом полимерной промышленности система маркировки изделий из пластмасс представлена на рис. 2 и в табл. 1. Международный знак составлен из трех стрелок, имеет вид треугольника, в треугольнике и под ним имеется ряд символов (цифры, буквы), которые свидетельствуют о принадлежности пластмассы к тому или иному виду материала.






Рис. 2. Маркировка пластиков в странах ЕС

Таблица 1

**Система международного кодирования
основных видов пластмасс**

Полное название	Обозначение	Химическая формула	Область использования	Эмблема
Полиэтилен-терефталат (ПЭТФ)	PET, PETE	$[-CH_2-CH_2OC(O)C_6H_4C(O)O-]_n$	Тара для напитков, растительных масел, кетчупов, специй, косметических средств	
Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП)	HDPE, PE HD	$[-CH_2-CH_2-]_n$ с добавками S, Cl, N	Одноразовая посуда, контейнеры для пищевых продуктов, бутылки для косметических средств, фасовочные пакеты, сумки, игрушки	
Поливинилхлорид (ПВХ)	PVC, V	$[-CH_2-CCl_2-]_n$	Оконные профили, элементы мебели, пленки для натяжных потолков, трубы, скатерти, занавески, напольные покрытия, тара для технических жидкостей. Запрещен для пищевого применения!	
Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП)	LDPE, PE LD	$[-CH_2-CH_2-]_n$	Большинство пакетов, мусорных мешков, компакт-дисков, линолеумов. Относительно безопасен для пищевого применения	

Окончание табл. 1

Полное название	Обозначение	Химическая формула	Область использования	Эмблема
Полипропилен (ПП)	PP	$[-CH_2-CH(C_6H_5)-]_n$	Пищевые контейнеры, упаковка для продуктов питания, шприцы, игрушки	
Полистирол (ПС)	PS	$[-CH_2-CH(C_6H_5)-]_n$	Одноразовая посуда, стаканчики для йогурта, лоточки под мясо, фрукты и овощи, контейнеры для еды, игрушки, сэндвич-панели, теплоизоляционные плиты	
Поликарбонат, полиамид и другие пластмассы, не получившие номер	OTHER, O		Бутылочки для детей, игрушки, бутылки для воды, упаковки	

При производстве тары и упаковки производителем, как правило, не рассматривается возможность ее повторного применения. Ни производителя, ни продавца, ни потребителя не интересует судьба однажды использованной бутылки, пакета, ящика, банки или пленки. Отслужив короткое время (порой несколько часов) большая часть этой огромной массы использованных материалов оказывается в мусорных контейнерах и вместе с другими ТБО вывозится на городские свалки, являющиеся источниками эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду. Суммарный эмиссионный поток, поступающий в окружающую среду в результате разложения ТБО, можно классифицировать по агрегатному состоянию на эмиссионный поток газообразных веществ, растворимых и твердых веществ. Эмиссия газообразных веществ в основном обусловлена образованием биогаза. Эмиссия растворимых веществ – это образование фильтрата. Под материальным потоком твердых веществ следует понимать образование свалочного грунта, включая те нерастворимые соединения, которые аккумулируются в нем. Причиной эмиссии газообразных веществ, растворимых и нерастворимых соединений, как известно, являются биохимические процессы, происходящие в массиве захоронения. В первую очередь разложению подвергаются отходы из органических ве-

ществ природного происхождения (целлюлозно-бумажные материалы, картон, волокнистые материалы из клетчатки или из ее производных), а также белковые материалы, в том числе и разнообразные пищевые отходы.

Промышленные синтетические полимеры являются весьма устойчивыми химическими соединениями. Многие из них, такие как полиэтилен, способны выдерживать воздействие солнечного излучения и кислорода воздуха в совокупности с воздействием тепла и влаги в природных условиях в течение десятков лет без заметного химического разрушения. Другие, например полипропилен, подвергаются разрушению, что легко заметить по ухудшению механической прочности пленки, которая после пребывания на воздухе в течение лета растрескивается. Однако фрагменты изделий из этого полимера также сохраняются в окружающей среде и загрязняют ее в течение многих лет. До настоящего времени при оценке газовой эмиссии массива захоронения отходов наличие полимерных материалов в составе ТБО не учитывалось. Насколько это соответствует действительности? Ведь старению подвергаются все материалы, в том числе и синтетические полимерные, хотя деструкцию большинства из них, изначально инициируют процессы не биологического характера, а такие, как фотоокисление, термолиз, механическая деградация и т.п. Полиэтилен и полипропилен, например, теряют около 1 мас.% после 10 лет захоронения [2]. В дальнейшем продукты деполимеризации пластмасс могут подвергаться биохимическому разложению.

По скорости разложения в ТБО выделяют 4 категории материалов: быстро, средне-, медленно и трудно разлагаемые. Время разложения некоторых материалов представлено в табл. 2.

Таблица 2

Время полураспада отдельных компонентов ТБО [2]

Группа отходов	Разновидность компонента отходов	Время полураспада, лет*		
		влажные	средние	сухие
Быстро разлагаемые	Пищевые, одноразовая бумажная посуда, журнальная бумага	3	7	15
Средне-разлагаемые	Целлофан, упаковка, офисная бумага, трава, листья	7	15	25
Медленно разлагаемые	Гофрированный картон, древесина	15	25	50

* По условиям разложения, которыми является массив отходов, где протекают биохимические процессы разложения ТБО.

Трудно разлагаемые компоненты ТБО, к которым относятся синтетические полимерные материалы, отвечают за долгосрочную эмиссию (растянутую на сотни и тысячи лет). Анализ вкладов веществ разных категорий позволил получить качественную характеристику временного распределения газовой эмиссии (рис. 3).

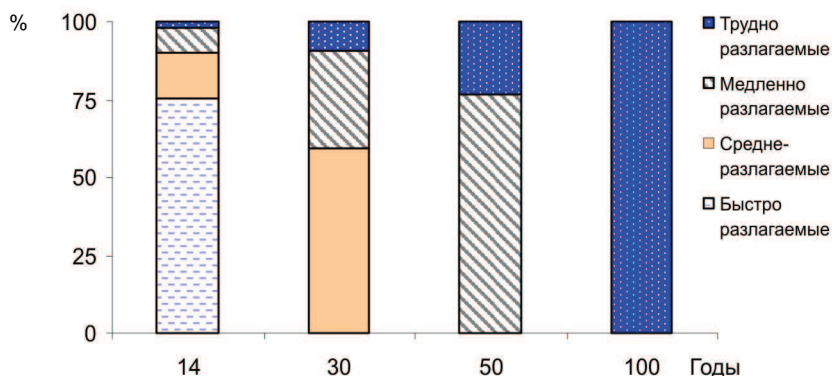


Рис. 3. Распределение эмиссии в атмосферу по категориям материалов при захоронении ТБО на свалках

На рис. 3 видно, что примерно через 80 лет после прекращения складирования газовая эмиссия в основном будет формироваться только за счет трудно разлагаемых фракций ТБО. Для прогнозной оценки величины газовой эмиссии, образование которой возможно при разложении полимерных материалов, смоделируем процесс деструкции на примере частного случая пластмасс – на примере полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Будем исходить из того, что первоначальная деполимеризация инициируется внешними воздействиями (ультрафиолетовым излучением, механическими воздействиями и химическими процессами). Довершают процесс разложения ПЭТФ физико-химические и микробиологические процессы, протекающие в теле полигона.

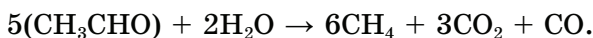
Общая формула полиэтилентерефталата имеет вид $(C_{10}H_8O_4)_n$. Для формирования полиэфирных волокон применяют ПЭТ со средней молекулярной массой около 20 000. В качестве расчетной формулы ПЭТФ принимается $(C_{10}H_8O_4)_{100}$.

Автором работы [3] было установлено, что структура ПЭТФ разлагается с образованием ацетальдегида и терефталиевой кислоты со средней скоростью 1–3 %. Исходя из вышеизложенно-

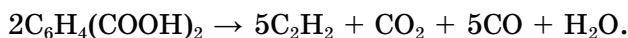
го получаем, что после первоначальной деполимеризации под воздействием ферментов микроорганизмов ПЭТФ расщепляется до CO_2 , CO , ацетальдегида и терефталовой кислоты, которые приведут к снижению величины рН в массиве захоронения и тем самым могут ускорить процессы биодеструкции:



Далее ацетальдегид может разлагаться с образованием метана:



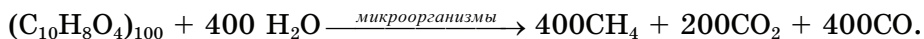
Терефталовая кислота под воздействием микроорганизмов может разлагаться с образованием этилена:



Этилен в свою очередь может разлагаться с образованием метана, оксида и диоксида углерода:



Таким образом, стехиометрическая модель разложения ПЭТФ будет выглядеть следующим образом:



Для дальнейших расчетов принимается, что скорость разложения ПЭТФ не превышает 2 мас.% в течение 10 лет. Среднестатистический состав биогаза принимается по методике [4]: CH_4 – 52,92 вес.%; CO – 0,25 %; CO_2 – 44,74 %. Поскольку наличие CO , CO_2 может приводить к образованию карбонатов в составе фильтрата, оценку объема образования биогаза проводим по CH_4 . Итак, исходя из стехиометрической модели из 1 кг ПЭТФ возможно образование 0,33 кг CH_4 . Следовательно, захоронение 1 кг ПЭТФ может привести к образованию 0,63 кг ($0,505 \text{ м}^3$) биогаза.

В среднем при разложении 1 т твердых бытовых отходов может образоваться 150–200 м^3 биогаза (для дальнейшей оценки принимаем усредненную цифру 180 м^3). Поскольку в настоящее время массовое содержание полимерных фракций в ТБО находится в пределах 10–17 % [5], считаем, что в среднем 1 т ТБО содержит 13,5 % полимерных материалов (в том числе ПЭТФ – 20,4 % от общего количества полимеров). Таким образом, доля ПЭТФ в общем объеме биогаза может составлять 7,7 %,

а доля всех полимерных отходов в составе ТБО может превышать 20 % в общем объеме газовой эмиссии за несколько сотен лет. С учетом того, что ПЭТФ будут разлагаться приблизительно в течение 500 лет, в течение первых 50 лет на их долю приходится всего 0,77 % (на долю всех полимеров может приходиться около 2 %). Таким образом, действительно, с точки зрения краткосрочных эмиссий в атмосферу, доля полимеров не существенна. Однако с точки зрения долгосрочных эмиссий, исходя из существующего уровня образования, она может составлять пятую часть и более.

С точки зрения земельных ресурсов морфология складированных отходов также имеет значение. В момент поступления на полигон ТБО представляют собой гетерогенную смесь, хотя и обладающую определенной структурной связностью за счет волокнистых фракций, а также сцеплением, обусловленным наличием влажных липких компонентов. Поскольку в свалочном грунте содержатся фракции, подверженные разложению, то, по истечении времени, происходит изменение вещественного состава, структуры и текстуры грунта. Известно, что в результате деструкции органических материалов природного происхождения (в основном быстро и среднеразлагаемые материалы) происходит образование почвоподобного субстрата. В результате исследования старых карт захоронения г. Перми (складирование проводилось в 70-е гг. прошлого столетия) было установлено:

- за 20–25 лет основные процессы деструкции легко разлагаемых фракций ТБО были завершены;
- свойства формирующегося в процессе разложения ТБО свалочного грунта изменились: характерны большая гомогенность, меньший размер частиц (менее 40 мм), большая плотность. По классификации минеральных грунтов свалочные грунты могут быть отнесены к естественным крупнообломочным дисперсным водонасыщенным грунтам, а по физико-механическим свойствам приближаются к грунтам урбанизированных территорий.

Чем меньше в составе ТБО средне- и трудно разлагаемых материалов, тем быстрее идет процесс ассимиляции свалочного массива окружающей средой. Поскольку процессы деструкции синтетических полимерных материалов протекают очень медленно, то захоронение пластмасс в составе ТБО не является рациональным решением проблемы их утилизации. К тому же,

если в 70-х гг. XX в. их содержание в развитых странах в общей массе ТБО составляло 7–10 %, занимая при этом до 25 % объема, то при существующем уровне содержания 10–17 мас.% их объемная доля выросла и может достигать 50 %. Следовательно, площади и время задалживания земель, занятых под полигоны и свалки, должны увеличиться. В результате проведенных в Швеции исследований по организации переработки отходов методом оценки жизненного цикла и анализа эффективности было установлено, что наихудший способ утилизации ТБО (а следовательно, и полимерных материалов), который представляет наибольшую экологическую и социальную опасность, – это складирование на полигоне. Объясняется это не только негативным воздействием на окружающую среду, но также и низкой степенью вторичного использования ресурсов.

Повторное использование отходов пластмасс затруднено в основном по причине их загрязнения: во многих случаях упаковка бывает изготовлена из разных сортов, а смешанная пластмасса – загрязненная пластмасса, и ее уже трудно использовать, например, в производстве бутылочной тары. К тому же, многокомпонентность фракции полимеров (пленка полиэтиленовая светлая и темная, тара из полиэтилентерефталата, полипропилен, полиэтилен низкого давления, поливинилхлоридные полимеры и т.п.), загрязненность в смеси ТБО затрудняет их выделение, разделение и, соответственно, переработку. Поэтому свойства вторичного полимера, получаемого в процессе сортировки, либо не будут соответствовать свойствам исходного сырья (гранул для переработки из расплава), либо получение незагрязненных вторичных полимеров потребует дополнительных затрат. По этой причине переработка полимерной тары и упаковки в те же изделия может оказаться невыгодной, так как предматериал требуемой чистоты, как правило, получается дороже исходного, качество полимера из вторичного сырья также оказывается ниже продукта, полученного непосредственно первичным изготовителем и потому продукт из вторичного полимерного сырья неконкурентоспособен. Кроме того, специалисты считают, что применение вторичных пластмасс приемлемо только для непищевых упаковок, причем в количестве до 25 %. К тому же не каждый потребитель согласен использовать упаковку из вторичного полимера. Даже если предположить, что значительная часть тары и упаковки будет использована вторично, то все

равно существует предельная допустимая кратность переработки, после чего все же неизбежно наступит время захоронения полимерного материала либо какого-то другого способа утилизации.

Итак, долговечность пластмасс, к которой так стремились его изобретатели и которая считалась одним из его достоинств и так привлекала потребителя, с точки зрения экологии оборачивается одним из главных недостатков материала. Вторым основным недостатком можно считать то, что для производства пластмасс используются невозобновимые природные ресурсы – углеводороды (нефть, газ, уголь).

Имеющиеся запасы нефти и природного газа плохо поддаются оценке, тем не менее, даже допуская, что промышленные запасы существенно возрастут, по прогнозам специалистов к 2030 г. будет исчерпано 80 % разведанных мировых запасов нефти. Угля на Земле гораздо больше, чем нефти и природного газа, но и его запасы не безграничны. По существующим прогнозам, запасов угля должно хватить еще на 420 лет. Но если потребление будет расти нынешними темпами, то его запасов не хватит и на 200 лет. Поэтому в последнее время активно ведется поиск альтернативных источников энергии, при этом все чаще обращается внимание на использование в качестве топлива ТБО. В США и Великобритании начиная с 70-х гг. прошлого столетия проводятся работы по получению из ТБО «Refuse Derived Fuel» (РДФ). Изначально процесс выделения энергетической фракции из ТБО заключался в измельчении и аэросепарации. В настоящее время производство РДФ сводится к просеиванию ТБО в барабанных грохотах, последующему измельчению и магнитной сепарации.

Преимущество ТБО в том, что их не надо искать, не надо добывать, но в любом случае их надо либо уничтожить, либо использовать. Поэтому рациональный подход здесь позволит не только получить энергию, но и избежать ненужных затрат. Анализ технико-экономических показателей работы ТЭС даже при частичном (10 %) замещении природного топлива отходами на одном из стандартных блоков показал, что стоимость природного топлива, используемого на ТЭС, может быть полностью покрыта «доходами» от приема ТБО [6]. Проведенные оценочные расчеты показали, что для производства 1 кВт·ч электроэнергии требуется от 337 до 342 г условного топлива (у.т.), при

величине удельной теплоты сгорания условного топлива $Q_{у.т.} = 29300$ кДж/кг у.т. В целом по России для выработки электроэнергии ежегодно используется около 300 млн т у.т. [7–9]. По прогнозным оценкам в г. Перми ежегодно «закапывается» около 60–70 млн кВт·ч в год. В ближайшие годы эта цифра будет увеличиваться в связи с ростом удельного содержания пластмасс в составе ТБО. С другой стороны, известно, что прямое сжигание ТБО экологически и экономически не целесообразно:

во-первых, потому что ТБО как смесь горючих и негорючих материалов обладает меньшей теплотворной способностью (стандартная смесь ТБО при сгорании выделяет в 1,5–2 раза меньше тепла, чем уголь);

во-вторых, потому что часть загрязнений обусловлена наличием негорючей фракции (исследованиями США выявлено, что при прямом сжигании ТБО большая часть сурьмы, кобальта, ртути, никеля и некоторых других металлов поступает в отходящие газы из негорючих компонентов);

в-третьих, большая часть не утилизируемого остатка определяется наличием балластных негорючих фракций;

в-четвертых, требуются сети, так как прямое сжигание ТБО подразумевает получение энергии (тепловой, электрической) с ее утилизацией.

Поэтому использование отходов пластмасс в качестве альтернативного топливного материала (непосредственно для получения тепла либо как техническое сырье для получения топлив) является вполне перспективным направлением их утилизации, позволяющим одновременно решать две задачи:

1) снизить объем эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду и нерациональное потребление земельных ресурсов;

2) получать энергию, экономя природные топливные ресурсы, такие как нефть, газ, уголь.

Пластмассы, так же как твердые и жидкие топлива, состоят из горючих (углерода С, водорода Н, серы S) и негорючих (азота N и кислорода O) элементов, а также балласта (золы А, влаги W). Указанные элементы определяют важнейший показатель практической ценности – удельную теплоту сгорания или теплотворную способность (табл. 3).

Как видно из табл. 3, энергетический потенциал пластмасс (запас, содержание химически связанной энергии) довольно вы-

сок и может быть частично или полностью использован в целях энергоснабжения.

Таблица 3

**Оценка теплотворной способности
синтетических материалов и природных топлив**

Наименование	Зольность, мас. %	Влажность, мас. %	Элементный состав, рабочий мас. %					Теплота сгорания на рабочую массу, МДж/кг	
			С	Н	О	N	S	высшая	низшая
Резина	10	2	86,2	1,1	0,0	0,2	0,5	30,2	29,9
Пластик	10	2	58,7	7,0	22,3	0,0	0,0	29,4	27,8
Торф	6,3	50,0	24,7	2,6	15,2	1,1	0,1	11,3	9,5
Уголь*	38,1	7,0	43,4	2,9	7,0	0,8	0,8	18,2	17,4

* Экибастузский, марки СС.

Требования к топливным материалам ограничиваются техническими условиями производств: фракционный состав должен быть однородным (крупногабаритные отходы измельчены); качество получаемых топлив не должно менять состав отходящих газов (увеличивать содержание загрязняющих веществ в выбросах); калорийность топлива должна удовлетворять энергетическим потребностям, сюда же можно отнести и транспортабельность. Из вышеизложенного очевидно, что вторичные пластмассы, как по отдельности, так и в смеси удовлетворяют перечисленным выше требованиям, и их можно рассматривать как нерудные топливные материалы – техническое сырье для производства топлив (например, посредством пиролиза или газификации). Поскольку они вырабатываются на основе ТБО, то фактически будут являться возобновляемым вторичным энергетическим ресурсом. Их можно длительное время хранить и транспортировать на относительно большие расстояния.

В заключение отметим, что в ближайшее десятилетие снижение производства синтетических полимерных материалов специалистами не прогнозируется.

Утилизация данных материалов методом захоронения угрожает экосистеме планеты, поскольку синтетические полимеры являются весьма устойчивыми химическими соединениями. Хотя с точки зрения краткосрочных эмиссий в атмосферу доля полимеров не существенна, однако с точки зрения долгосроч-

ных эмиссий, исходя из существующего уровня образования, он может превышать 20 %. Кроме того, чем меньше в составе ТБО средне- и трудно разлагаемых материалов, тем быстрее идет процесс ассимиляции свалочного массива окружающей средой. Захоронение пластмасс в составе ТБО наихудший способ утилизации не только с точки зрения негативного воздействия на окружающую среду, но также и с точки зрения ресурсосбережения.

Переработка полимерной тары и упаковки в те же изделия может оказаться невыгодной, так как предматериал требуемой чистоты, как правило, получается дороже исходного сырья. Кроме того, существует предельная допустимая кратность переработки, после чего неизбежно наступит время захоронения либо какого-то другого способа утилизации.

Вторичные пластмассы, как по отдельности, так и в смеси обладают высокой теплотворной способностью и, в целом, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к топливным материалам, поэтому их можно рассматривать как нерудные топливные материалы, получаемые на основе ТБО.

Нерудные топливные материалы могут быть использованы:

- самостоятельно или совместно с другими видами топлив непосредственно для получения энергии;
- для получения топливных полуфабрикатов (брикетов, заготовок, гранул и т.п.);
- для получения жидких или газообразных топлив (пиролиз, газификация).

Библиографический список

1. Переработка полимеров в России/ Исслед. компания Abercade// Отраслевой портал UNIPACK.RU. – URL: <http://article.unipack.ru/30722> (дата обращения: 20.10.2011).
2. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – 231 с.
3. Bjorkland A. Environmental systems analysis waste management // TRITA – KET – IM. – 1998. – № 16. – AFR – Report 211.
4. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. – М., 2004.
5. Левин В.С., Коростелев В.И., Эрлих Т.А. Производство и переработка пластмасс и синтетических смол // Сб. тр. НИИТЭХим, НИИПМ. – 1975. – № 10. – С. 27–31.

6. Федоров Л.Г., Маякин А.С. Теплоэлектростанция на бытовых отходах // Энергетика и промышленность России. – 2006. – № 6 (70), июнь.

7. Бондаренко В.А. Маркетинговый сценарий коммерческого использования отходов тароупаковочного комплекса в России // Маркетинг в России и за рубежом. – 2006. – № 2.

8. Российский статистический ежегодник / Госкомстат России. – М., 2003. – 358 с.

9. Тлещерищев А.М. Логистика электроэнергетического комплекса региона: дис. ... канд. экон. наук. – Ростов-н/Д, 2002. – 152 с.

Получено 1.11.2011