

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» / Russian journal of resources, conservation and recycling <http://resources.today>

2015, Том 2, №1 / 2015, Vol 2, No 1 <http://resources.today/issues/vol2-no1.html>

URL статьи: <http://resources.today/PDF/02RRO115.pdf>

DOI: 10.15862/02RRO115 (<http://dx.doi.org/10.15862/02RRO115>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Иванова Е.В. Развитие методов переработки отходов производства // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 2, №1 (2015) <http://resources.today/PDF/02RRO115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Ivanova E.V. [The development of methods of processing of production wastes] Russian journal of resources, conservation and recycling, 2015, Vol. 2, no. 1. Available at: <http://resources.today/PDF/02RRO115.pdf> (In Russ.)

**Иванова Елена Владимировна**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва  
Соискатель кафедры «Сервисного инжиниринга»  
E-mail: vaivanow@rambler.ru

## Развитие методов переработки отходов производства

**Аннотация.** Переработку и обезвреживание отходов производства необходимо рассматривать в качестве одной из основных задач, возложенных законодательством на юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, в процессе деятельности которых образуются отходы производства. Необходимо по примеру стран ЕС законодательно предусмотреть ответственность производителей за утилизацию образовавшихся у них отходов. Качественный и количественный состав отходов на входе в технологический процесс должен удовлетворять не только требованиям данного процесса, но и требованиям рационального использования техногенного сырья в качестве ВМР и ВЭР. К сожалению, применяемые в настоящее время в России технологии (сжигание ТБО и их ручная сортировка) не предусматривают оптимизацию состава сырья на входе в процесс (подготовка отходов к технологическим процессам не предусмотрена): в любой процесс поступают исходные ТБО (гетерогенный состав ТБО, представляющих смесь различных по свойствам, крупности и степени опасности компонентов, не учитывается). Как следствие низкого качества сырья на входе в процесс российские технологии плохо решают задачи ресурсосбережения и экологической безопасности.

В городах Российской Федерации количество твердых бытовых отходов (ТБО) не превышает 20 млн т. По энергосодержанию это количество отходов эквивалентно 81 млн т условного топлива. (Калорийность ТБО в 4 – 5 раз меньше калорийности угля, т.е. должно быть где-то 4-5 млн т.у.т.)

**Ключевые слова:** биотермирование; захоронение на полигонах; переработка и обезвреживание отходов; сжигание ТБО

### Введение

Рассмотрим возможность применения немецкой (израильской) технологии переработки ТБО. В мировой практике известны следующие технологии переработки и обезвреживания ТБО:

- захоронение на полигонах с естественным разложением отходов в течение многих десятилетий. Период полураспада ТБО в таких условиях составляет 30-60 лет;

- мусоросжигание и газификация;
- переработка коммерчески выходных фракций: ПЭТФ, металла, стекла и т.д.;
- биотермирование (активное компостирование) - микроаэрофильный процесс с получением тепловой энергии и твердых органических удобрений;
- сжигание в газогенераторах с получением горючих газов (тепловой и электрической энергии) и шлама, который затем используется в качестве строительного материала (дорожного покрытия).

Перечисленные технологии имеют определенные недостатки, препятствующие их широкому внедрению [1]:

- сжигание ТБО практически ликвидирует ценную органическую составляющую, которая является исходным сырьем для получения органических удобрений и экологически чистого топлива - биогаза, что особенно актуально для небольших городов и крупных поселков, не имеющих промышленных предприятий и ТБО которых не загрязнены тяжелыми металлами;
- при сжигании отходов происходит выброс дымовых газов в атмосферу;
- сепарирование ТБО, с одной стороны, не решает проблему полного обеззараживания органической части ТБО, подвергающейся последующему компостированию, а с другой стороны, этот процесс (компостирование) переводит в  $CO_2$  до 50% перерабатываемого углерода - потенциального источника топлива;
- биогазификация в буртах протекает с небольшой скоростью в течение нескольких лет, что не снимает проблему отчуждения земель, хотя и в меньших масштабах, чем при организации полигонов;
- 90% оставшихся ТБО сбрасывается в мусорные отвалы, что требует постоянного отчуждения новых земель вокруг городов, как правило, окультуренных, так как период «полураспада» ТБО составляет 30-60 лет.

### Обсуждение

Технология применяемая в г. Хильдесхайм (Германия) (см. рис. 1).



Рисунок 1. Технологическая схема процесса переработки ТБО

На стационарном непрерывно действующем, безотходном высокорентабельном заводе с коротким циклом переработки органики (не более 25-30 суток) и применением технологии переработки органической составляющей ТБО, получают следующие результаты:

- осуществить промышленную переработку ТБО без изъятия земельных площадей;
- сократить продолжительность обработки до нескольких недель против нескольких лет;
- обеспечить полное обеззараживание в соответствии с существующими санитарными нормами;
- создать рентабельный процесс с получением товарной продукции – экологически чистых высокоэффективных органических удобрений и газообразного топлива.
- Технология при переработке бытовых отходов позволяет предотвратить такое опасное явление, как выделение в атмосферу метана и диоксида углерода (сопровождающее разложение отходов на полигонах), и предотвратить усиление «парникового эффекта», вызываемого этими газами.

Основные преимущества предлагаемой технологии:

- образование биогаза, используемого в дальнейшем на электростанциях и в муниципальном транспортном секторе (с гораздо меньшим количеством вредных выбросов);
- возвращение в хозяйственный оборот более 90% отсортированных бытовых отходов материалов (металлы, пластмассы, стекло) и т.д.;
- снижение эффекта «глобального потепления»;
- исключение загрязнения атмосферы, почвы и водных ресурсов;
- производство высококачественного компоста (удобрения).

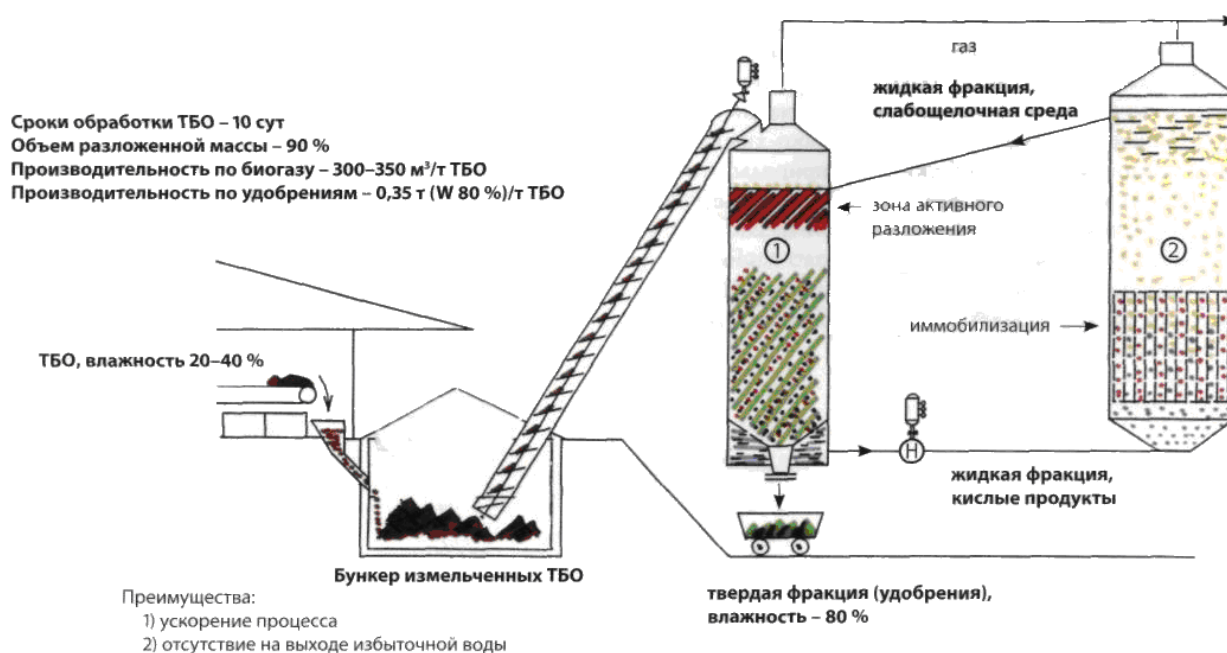
(Видимо речь идет о компостируемых фракциях, выделенных из ТБО. Возвращение более 90% фракций ТБО в хозяйственный оборот - утопия, описанные установки неплохо работают на растительных отходах, навозе, помете, что касается ТБО - потребуется дополнительная очистка биогаза, очистка воды, а получаемый компост возможно использовать разве что только для изоляционных слоев на полигонах ТБОv [3]).

Твердые бытовые отходы измельчаются, далее в присутствии эффлюента (элюата) производится гидродробление с одновременным извлечением полимерных отходов, отходов черных и цветных металлов, стеклобоя, древесных отходов. Очищенная органическая масса подвергается биогидролизу и кислотному анаэробному брожению с образованием летучих жирных кислот и низших спиртов [2]. Кислотная бражка подается во второй биореактор, где протекает мезофильная метангенерация. А метановая бражка разделяется на жидкий эффлюент, направляемый во второй резервуар с гидродроблением. Твердый осадок используется в качестве биологического удобрения (рис. 1). В технологии используют двухстадийное метановое брожение: кислотогенную и метаногенную стадии, что позволяет сократить время переработки.

Безусловно, такая технология представляет интерес, но ее приобретение требует большей детализации по основным параметрам технологического процесса и больших капитальных затрат.

Однако, все новое-это давно забытое старое, ведь двухстадийное метановое брожение было изобретено еще в СССР (1961 год) и использовалось в промышленности при переработке ацетоно-бутиловой барды методом термофильного метанового брожения для производства препарата витамина В<sub>12</sub> и биогаза. В 1970-е гг. двухфазный процесс при переработке ТБО был использован в Швеции. В конце 1980-х гг. в Институте биохимии имени А.Н. Баха АН СССР была разработана технология рециркуляционно-твердофазной термофильной метангенерации органической составляющей ТБО в биогаз и удобрения. Фундаментальные основы такой технологии позволили создать экспресс-технологии переработки органической фракции ТБО в газообразное топливо - биогаз и органические удобрения; время переработки - 2-3 недели вместо 30-60 лет на полигонах. Технологическая система включала два биореактора-метантенка: реактор для твердофазной метангенерации (влажность бродящей массы 75-80%) и реактор для жидкофазной метангенерации (влажность 97-98%). Жидкая фаза (с помощью насосов) постоянно прокачивалась через реактор с твердой фазой, что создавало высокую скорость разложения органических веществ в термофильных стабильных условиях. Результаты одного из таких пилотных экспериментов приведены в табл. 1, 2. Объемы пилотных метантенков - по 110 л, температура ферментации - 55°C, образцы ТБО были взяты из мусорных контейнеров одного из жилых массивов Москвы. Металл и стекло не удалялись, крупные куски бумаги предварительно измельчались. Для более убедительного доказательства устойчивости процессов ферментации при использовании такой технологии органическая составляющая была дополнена легкоразлагаемыми органическими пищевыми отходами, включая измельченные пакеты из-под молочных продуктов. Количество и состав газов, а также другие параметры процесса анализировались по известным методикам. Рециркуляция жидкой фазы проводилась со скоростью, чтобы общий рабочий объем в первом биореакторе (ТБО + инокулят) оставался без изменения. Как показали полученные данные, в процессе термофильной рециркуляционно-твердофазной обработки 2,5 кг ТБО за 33 сут. выделилось 584 л биогаза, содержащего до 68% метана; при этом во втором реакторе среднее содержание метана в процессе ферментации составило 85,5%, значение рН - одного из основных параметров, отражающих условия протекания процесса, - поддерживалось на оптимальном для данного процесса уровне, равном 7,25-8,25. В то же время в контрольном варианте, где процесс проходил по одному из методов классической метангенерации, он остановился на пятые сутки из-за накопления кислых продуктов, ингибирующих развитие метаногенных бактерий, что подтверждалось снижением рН среды до 4,37, конечное значение рН составило 4,65. Выход биогаза не превышал 44,6 л или 4,8% количества биогаза, образовавшегося в опытном варианте. Содержание метана - 10,3, СО<sub>2</sub> - 76,5, водорода - 13,2%. Все это свидетельствовало о доминировании кислотогенной стадии процесса в контрольном варианте, где конверсия по органическому веществу составила всего 16%. Выход биогаза на 1 кг обработанных ТБО составил 374 л, метана - 253 л, на 1 т - соответственно 374 и 253 м<sup>3</sup>. Выход органических удобрений (шлама) по сухому веществу достиг 0,41 кг или 16,4%, а при влажности 80% - 2,1 кг. За три недели ферментации (21 сут.) выход биогаза составил 882 л, или 94% общего объема образовавшегося биогаза, метана - 585 л, или 92,6%. Степень разложения органических веществ ТБО, оцененная по образовавшемуся биогазу, за 21 сут. равнялась 68%, тогда как за 33 сут. - 71%, то есть обработку ТБО по предлагаемой технологии можно вести в течение 15-20 сут. Таким образом, рециркуляционно-твердофазная термофильная обработка ТБО создает стабильные условия для поддержания оптимальных значений некоторых параметров физико-химической и биологической природы, что обуславливает высокую скорость процесса разложения органической составляющей ТБО с образованием значительного количества биогаза с высоким содержанием метана [4]. Включения иной природы (металлы, стекло, резина и т.д.) не сдерживают этот процесс. На основании проведенных исследований предложена технологическая схема рециркуляционно-

твердофазной термофильной метангенерации ТБО, представленная на рис. 2. Срок обработки ТБО при данной технологии - 10 сут. Их размельчают, а затем шнековым транспортером подают в биореактор-метантенк с твердофазной ферментацией.



**Рисунок 2.** Схема рециркуляционно-твердофазной термофильной биометагенерации

После загрузки ТБО первый реактор инокулируется, то есть заполняется жидкой фракцией, содержащей метано-генный биоценоз, и общая влажность субстрата доводится до 80%, но не более [4]. Далее масса-субстрат подогревается до 52-53°C. Эта температура поддерживается автоматически с помощью либо тепловых рубашек, расположенных вокруг реактора, либо внутренних теплообменников [7]. Возможны любые варианты при соблюдении лишь двух условий - рентабельности и технологичности процесса. Через сутки после инокуляции начинают процесс рециркуляции (можно периодически каждые 4-5 ч, можно непрерывно) жидкой фракции из второго биореактора (жидкофазная метангенерация). Слабощелочная метановая бражка, содержащая активную бактериальную массу, подается самотеком в верхнюю часть первого реактора, где создается активная зона, в которой легко разлагаемые органические вещества конвертируются в кислые продукты, частично нейтрализуемые метановой бражкой и ей же выводимые из активной зоны в нижнюю не работающую часть реактора [5]. Оттуда эти кислые продукты насосом перекачиваются во второй реактор. Рециркуляция позволяет постоянно поддерживать в активной зоне первого реактора [7]:

- высокую плотность бактерий;
- нейтральное значение рН, оптимальное для активного развития метаногенного биоценоза и стабильного протекания процесса.

Установка, работающая по такой технологии, может быть связана со станциями аэрации по очистке городских и коммунальных стоков, где роль жидкофазных реакторов будут выполнять действующие метантенки [3]. По конструкции твердофазные биореакторы-метантенки могут быть вертикальными и горизонтальными. Их высота будет определяться фильтрующей способностью самой обрабатываемой массы, которая будет зависеть от плотности последней и создаваемого ею давления. Установка, работающая по такой

технологии в сочетании с заводами-сепараторами, позволит создать комплексные, экологически чистые, практически безотходные, предприятия по переработке ТБО в любом климатическом поясе, в любом городе и поселке с получением черных и цветных металлов, строительных материалов, топлива, электрической и тепловой энергии, удобрений без необходимости отчуждения полезных земель. Наибольшее распространение такая технология может получить в небольших городах или поселках, где сведено к минимуму попадание промышленных отходов, содержащих, как правило, тяжелые металлы в количествах, превышающих предельно допустимые нормы, и где полученный после переработки шлам можно использовать как органические удобрения, которые существенно повышают рентабельность таких комплексных заводов [4, 6, 7]. В небольшом городе с населением 20 тыс. чел. образуется 14-17 т/сут. или 5-6 тыс. т/год ТБО. Их переработка может дать 1,75-2,1 млн м<sup>3</sup> биогаза в год и до 4-4,8 тыс. т/год органических удобрений при влажности 80%.

### Заключение

Практический опыт использования биогазовых технологий в разных регионах показал, что это - не только один из инструментов получения технического топлива из биомассы, но и реальный путь к увеличению прироста самой биомассы при применении получаемых с помощью этих технологий удобрений, содержащих природные высокоактивные стимуляторы роста растений класса ауксинов, служащих дополнительной утилизации образующихся избыточных количеств углекислоты в атмосфере.

Твердые бытовые отходы - постоянный бич всех городов мира - при использовании новейших биогазовых технологий смогут не только полностью перерабатываться за короткие сроки без ущерба для окружающей среды и агрокомплекса, но и стать хорошим сырьем для получения строительных материалов, топлива, энергии и удобрений. Россия не будет исключением (среди стран, создавших рыночную экономику) в части использования биомассы (разнообразные органические отходы сельскохозяйственного производства и ТБО), которая сможет использоваться для получения топлива и энергии, особенно в местах, удаленных от источников централизованного энергоснабжения, а также для получения высококачественных органических удобрений, несущих в себе огромный потенциал прироста исходной первичной биомассы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Pankshava E.S. The use of biomass energy in Russia: The problems and perspectives / E.S. Pankshava, N.L. Koshkin // Renewable sources of energy and their significance for energy policy in Germany and Russia. Freiburg in Breisgau. 24 October 1994.
2. Панцхава Е.С. Техническая биоэнергетика: Биомасса как дополнительный источник топлива. Получение биогаза / Е.С. Панцхава, И.В. Березин // Биотехнология. 1986. №2. С. 1-12.
3. Иванов В.А., Минаев В.А., Жаворонков А.И. Влияние коммунальных стоков предприятий на экологию прилегающих территорий // Сборник научных статей «Сервис в России и за рубежом». Номер 4 (27) 2014.
4. Горбунова Н.В. Формально-кинетическая модель процесса метан-генерации механически обезвоженных, осадков городских сточных вод при использовании спонтанной анаэробной микробной ассоциации / Н.В. Горбунова, Э.Ф. Брин, С.О. Варсян и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 1990. Т. 26. Вып. 5. С. 635-641.
5. Панцхава Е.С. Метангенерация твердых органических отходов городов / Е.С. Панцхава, Е.В. Давиденко // Биотехнология. 1990. №4. С. 49-53.
6. Губанов Н.Н., Иванов В.А., Крымская Е.Я., Есипов В.Е. Влияние внешних факторов на долговечность инженерных подземных коммуникаций // [Электронный ресурс]: Сервис в России и за рубежом. №1 (39) 2013. С. 59-69 (дата обращения: 07.03.2014).
7. Иванов В.А., Шагунов Д.В., Байкин С.Д. Модернизация оборудования сервиса как способ расширения его технологических возможностей // Электротехнические и информационные комплексы и системы. №2, т. 8, 2012 г. С. 2-8.
8. Иванов, В.А., Комаров, Н.М., Крымская, Е.Я., Панова, М.В. Водные ресурсы России, модели метода их сохранения и вызовы проекта // [Электронный ресурс]: <http://publ.naukovedenie.ru> Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». №6 (19). Выпуск 6, ноябрь – декабрь 2013 (дата обращения: 05.03.2014).

**Ivanova Elena Vladimirovna**

Russian state university of tourism and service, Russia, Moscow

E-mail: vaivanow@rambler.ru

## **The development of methods of processing of production wastes**

**Abstract.** The recycling and disposal of waste production must be considered as one of the main tasks entrusted by the legislation on legal entities and individual entrepreneurs in the process activities generate waste production. Need on example of EU countries legally enforce the responsibility of producers for the disposal of waste generated from them. Qualitative and quantitative composition of the waste input to the process must satisfy not only the requirements of the process, but also the requirements of the rational use of technogenic raw materials as GIR and ware. Unfortunately, the currently used technology in Russia (the burning of solid waste and sorting them manually) does not include the optimization of the composition of the raw material input to the process (preparation of the waste for manufacturing processes not provided for): in any process receive raw MSW (heterogeneous composition of MSW, representing a mixture of different properties, particle size and degree of hazard, is not considered). As a consequence of the lower quality raw material input into the process of Russian technology bad solve problems of resource saving and environmental safety.

In cities of the Russian Federation the quantity of municipal solid waste (MSW) does not exceed 20 million tons over the energy content is the amount of waste equivalent to 81 million tons of conditional fuel. (The caloric value of MSW in 4 – 5 times less than the calorific value of coal, i.e. should be around 4-5 million tons.t.).

**Keywords:** bitimirov; disposal at landfills; recycling and disposal of waste; burning of solid waste



## REFERENCES

1. Pantskhava E.S. The use of biomass energy in Russia: The problems and perspectives / E.S. Pantskhava, N.L. Koshkin // Renewable sources of energy and their significance for energy policy in Germany and Russia. Freiburg in Breisgau. 24 October 1994.
2. Pantskhava E.C. Tekhnicheskaya bioenergetika: Biomassa kak dopolnitel'nyy istochnik topliva. Poluchenie biogaza / E.S. Pantskhava, I.V. Berezin // Biotekhnologiya. 1986. №2. S. 1-12.
3. Ivanov V.A., Minaev V.A., Zhavoronkov A.I. Vliyanie kommunal'nykh stokov predpriyatiy na ekologiyu privileyushchikh territoriy // Sbornik nauchnykh statey «Servis v Rossii i za rubezhom». Nomer 4 (27) 2014.
4. Gorbunova N.V. Formal'vo-kineticheskaya model' protsessa metan-generatsii mekhanicheski obezvozhennykh, osadkov gorodskikh stochnykh vod pri ispol'zovanii spontannoy anaerobnoy mikrobnoy assotsiatsii / N.V. Gorbunova, E.F. Brin, S.O. Varosyan i dr. // Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya. 1990. T. 26. Vyp. 5. S. 635-641.
5. Pantskhava E.S. Metangeneratsiya tverdykh organicheskikh otkhodov gorodov / E.S. Pantskhava, E.V. Davidenko // Biotekhnologiya. 1990. №4. S. 49-53.
6. Gubanov N.N., Ivanov V.A., Krymskaya E.Ya., Esipov V.E. Vliyanie vneshnikh faktorov na dolgovechnost' inzhenernykh podzemnykh kommunikatsiy // [Elektronnyy resurs]: Servis v Rossii i za rubezhom. №1 (39) 2013. S. 59-69 (data obrashcheniya: 07.03.2014).
7. Ivanov V.A., Shagunov D.V., Baykin S.D. Modernizatsiya oborudovaniya servisa kak sposob rasshireniya ego tekhnologicheskikh vozmozhnostey // Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy. №2, t. 8, 2012 g. S. 2-8.
8. Ivanov, V.A., Komarov, N.M., Krymskaya, E.Ya., Panova, M.V. Vodnye resursy Rossii, modeli metoda ikh sokhraneniya i vyzovy proekta // [Elektronnyy resurs]: <http://publ.naukovedenie.ru> Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE». №6 (19). Vypusk 6, noyabr' – dekabr' 2013 (data obrashcheniya: 05.03.2014).