

УДК 628.544/628.4.042

Профессор С.Ю. Панов, аспирант А.А. Чернецкая,
профессор А.В. Жучков, доцент А.Н. Рязанов
(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра машин и аппаратов химических
производств, тел. (473) 249-91-13

Разработка научных основ технологии утилизации пищевых отходов методом анаэробного сбраживания

Выполненная работа направлена на создание технологических основ сбора и утилизации отходов в местах образования методом анаэробного сбраживания и получение социально-экономического, экологического и агротехнического эффекта.

Performed scientific work is directed on creation of technological bases of collection and recycling of waste in place waste generation using the method of anaerobic digestion and receiving socio-economic, ecological and agro-technical effect.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, газгольдер, метантенк, мезофильные микроорганизмы, коммунально-бытовые отходы, утилизация и переработка отходов

Рост потребления населением, особенно в крупных городах России, приводит к увеличению объемов образования коммунально-бытовых отходов. Существующая система управления отходами в России, ориентированная преимущественно на их захоронение, является несовершенной, ведет к загрязнению окружающего воздуха, грунтовых вод и, как следствие, снижению качества жизни, не согласуется с принципами устойчивого развития экономики и требует коренной модернизации. Отходы, при их бесконтрольном размещении на свалках, негативно воздействуют на окружающую среду, являясь источником поступления вредных химических и биологических веществ в грунтовые и поверхностные воды, атмосферный воздух и почву, создавая определенную угрозу здоровью и жизни населения. Поэтому предотвращение попадания вредных веществ из отходов во внешнюю среду является важнейшей задачей экологической безопасности при обращении с коммунально-бытовыми отходами (КБО).

Актуальность проблемы утилизации (переработки) КБО, в частности пищевых отходов, вызвана целым рядом причин, к которым относятся:

- ухудшение экологической обстановки и здоровья населения, связанное с выбросом в атмосферу газов, являющихся продуктом разложения отходов, загрязнением водных источников, уничтожением плодородного слоя почв;

- образование санкционированных и не-санкционированных свалок с нарушением экологических и санитарных правил, и норм;

- увеличение объема производимых отходов, многообразие видов отходов, сложность и непостоянство их состава;

- потеря содержащихся в отходах ресурсов, которые возможно использовать вторично;

- отчуждение под свалки и полигоны значительных земельных площадей.

Мусорные свалки как самый простой путь складирования отходов в крупных городах являются потенциальным источником биологического и химического загрязнения окружающей среды, ведут к деградации почв [1-3].

Биотехнологические методы являются на сегодняшний день одними из наиболее перспективных и эффективных способов переработки отходов и их обезвреживания [4]. Внедрение в городское хозяйство технологии биодеградации позволит решить множество экологических и энергетических проблем. Преимуществами данного метода является экологическая чистота, так как конечными продуктами являются активный ил (хорошее удобрение), биогаз (энергоноситель) и вода.

Целью научно-исследовательской работы было создание научно-технического задела в области экономически приемлемых и безопасных технологий обращения с коммунально-бытовыми отходами, обеспечивающих сокращение объемов их поступления для полигонного захоронения и снижение загрязнения окружающей среды с соблюдением социально-

экологических и санитарно-гигиенических норм, разработка комплексов по утилизации коммунально-бытовых отходов с получением газа.

Коммунально-бытовые отходы образуются в жилом секторе, в предприятиях торговли, административных зданиях, учреждениях, конторах, дошкольных и учебных заведениях, культурно-спортивных учреждениях, железнодорожных и автовокзалах. Средняя норма сбора пищевых отходов у населения составляет 30 кг/чел. в год [4]. Состав и накопление пищевых отходов, собираемых у населения, изменяются по сезонам года. Ориентировочный состав пищевых отходов, %, приведен ниже:

Отходы:

- овощные	9-15
- картофель и его очистки	60-65
- фруктовые	5-8
- мясные	2,3-2,7
- рыбные	1,8-2,5
- хлеб и хлебобродуки	1,6
- молочные и сырные отходы	0,4
- кости	3,4-4,1
- яичная скорлупа	0,4
- посторонние примеси	4-12
- прочие отходы	2,7

Как следует из приведенных данных, пищевые отходы вместе с кормовой частью содержат до 12 % балластных примесей (стекло, резину, металлы, бумагу разных сортов и др.).

Химический состав пищевых отходов (% общей массы) составляет:

- влага общая	71,8-85
- сухое вещество	15-28,2
В том числе:	
- протеин	1,7-4,4
- жир	0,4-1,6
- безазотистые экстрактивные вещества	11,4-15,5
- клетчатка	1-3
- зола	1,8-2,4

На основании вышеизложенного нами предлагается провести разработку способа переработки указанных пищевых отходов методом анаэробного сбраживания на установках небольшой производительности, которые могли бы располагаться вблизи источников образования или временного накопления отходов и производить утилизацию (переработку), реализуя не только экологическую функцию, но и образуя полезную вторичную продукцию.

С целью биодеструкции сырья такого состава наиболее целесообразно использовать подобранный консорциум микроорганизмов состоящий из бактерий *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas facilis*,

Erwinia amylovora, *Arthrobacter sp.*, *Methanoscarcina barken*, *Methanococcus mazei*, *Methanobacterium cariacimarisnigri*, *Methanospirillum hungatei*. Дополнительно вводили *Cellulomonas effusa*. Данный консорциум позволит проводить биодеструкцию сырья с получением биогаза.

Предлагаемый нами способ сбора и утилизации пищевых отходов методом анаэробного сбраживания базируется на адаптации сырьевых комплексов к технологическим условиям переработки анаэробными бактериями, при этом подбор рецептур и технологических параметров обеспечивает наибольшую эффективность процесса биосинтеза.

Главным преимуществом предлагаемой технологии является возможность утилизации пищевых отходов сложного морфологического и непостоянного состава и получение на выходе экологически безопасных продуктов.

Экспериментальная установка (рисунок 1) предназначена для получения биотоплива из органических отходов методом анаэробного сбраживания. Установка обеспечивает утилизацию отходов кормовых производств и пищевых отходов, снижение уровня загрязнения окружающей среды и повышение степени экологической безопасности.

Реактор 1 представляет собой аппарат с рубашкой и винтовым перемешивающим устройством. Обогрев осуществляется теплоносителем, подающимся в рубашку аппарата. Питающий трубопровод оборудован загрузочной воронкой 4, шаровым краном и заглублен ниже уровня жидкости в реакторе. Отвод переработанной массы сырья (биопласта) осуществляется посредством шнекового выгрузного устройства. Аппарат оборудован штуцером для установки манометра.

В качестве хранилища газа используется мокрый газгольдер 2 низкого давления колокольного типа, конструктивно выполненный разъемным и имеющий верхнюю и нижнюю царги. В нижней части находится крестовина, на которую опирается колонна. Во внутренней полости колокола находятся два патрубка соответственно для ввода газовой среды.

Газгольдер оборудован показывающим манометром для визуального контроля давления и датчиками, регистрирующими показания с последующим выводом на ПК. Устройство для отбора проб представляет собой емкость цилиндрической формы с плоским днищем и конической крышкой, на которой расположен патрубок с ответным фланцем.

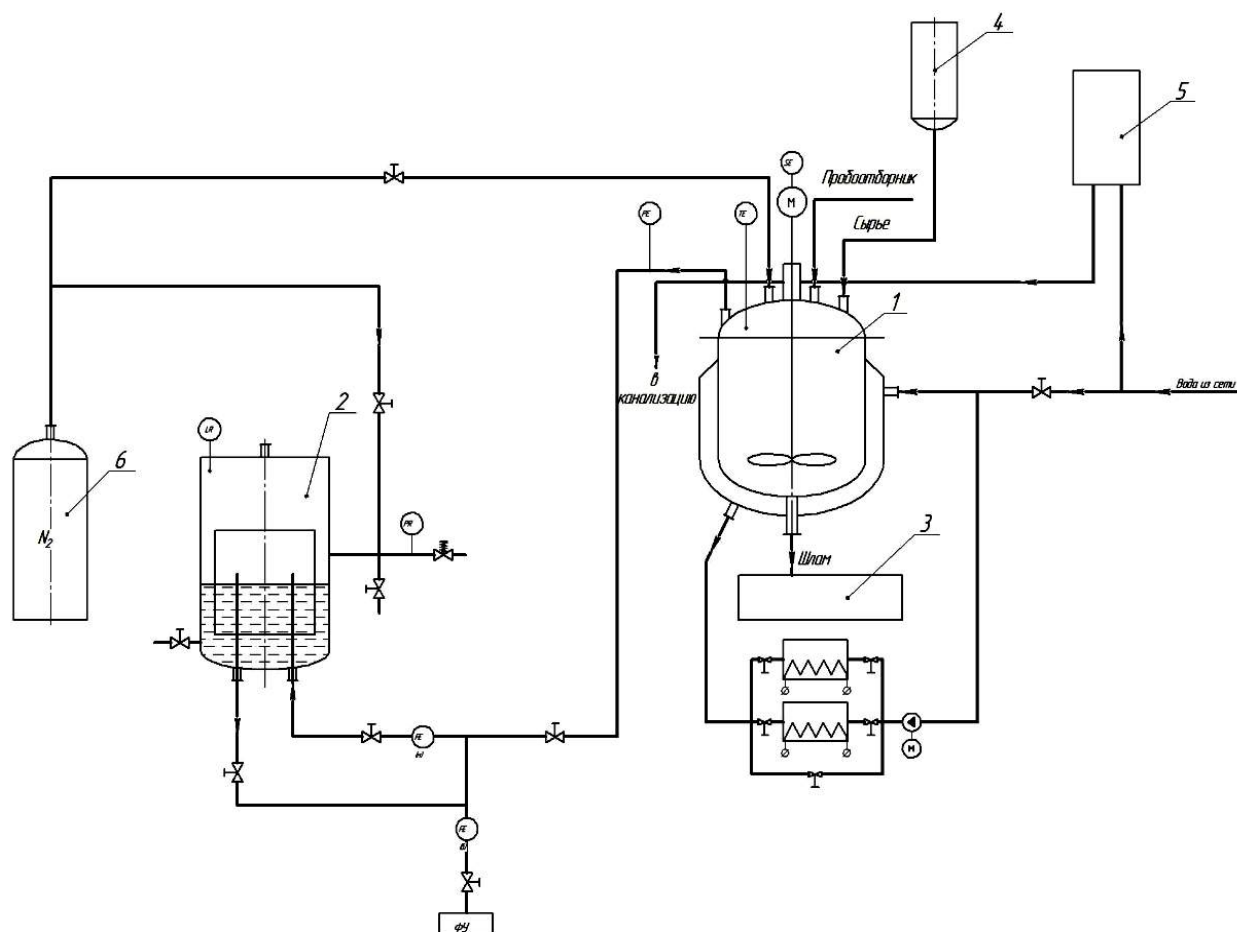


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки: 1- реактор, 2- газгольдер, 3- емкость для сбора шлама, 4 - воронка загрузочная, 5 - емкость для воды, 6 - емкость азота, 7 - факельная установка

Было составлено несколько смесей пищевых коммунально-бытовых отходов, подлежащих утилизации методом анаэробного сбраживания, представленных в таблице 1.

После составления многокомпонентной смеси пищевых коммунально-бытовых отходов, подлежащих утилизации методом анаэробного сбраживания определяли pH (таблица 2).

Т а б л и ц а 1

Номенклатура смесей пищевых коммунально-бытовых отходов, подлежащих утилизации методом анаэробного сбраживания

№ п/п	Наименование отходов	Содержание компонентов смеси, г		
		Смесь №1	Смесь №2	Смесь №3
1	Остатки жиров	1750	504	304
2	Масла растительные отработанные	160	452	549
3	Отруби и высевки, пшеничные и ржаные	270	206	88
4	Выжимки овощные, фруктовые и ягодные, томатные шкурки и семена	530	294	194
5	Остатки теста	120	334	114
6	Кости, скорлупа яичная	1270	450	266
7	Картофельная мезга	360	1049	1234
8	Хлебная крошка	120	111	104
9	Остатки мяса, кожи, пр.	1150	2095	2101
10	Свежая вода	2000	3000	3500
11	Молочные отходы	480	465	955
12	Пищевые консервы	450	844	395
13	Отходы разделки рыбы, крабов и других морепродуктов	1340	196	196

Т а б л и ц а 2

Значение pH отходов

Наименование смеси	Влажность, %	Значение pH
Смесь №1	54	6,9
Смесь №2	69	7,1
Смесь №3	78	7

При работе реактора получаемый биогаз содержал 60 -70 % метана; 30-40% двуокиси углерода, а также примеси. Соотношение CH_4 и CO_2 зависело от исходного субстрата и характеристик процесса брожения (температуры, времени пребывания массы в реакторе). Биогаз содержит также незначительное количество H_2 , H_2S , N_2 . Теплотворная способность биогаза 21-29 МДж/м³; 1 м³ его эквивалентен 0,7-0,8 кг условного топлива. В результате брожения из 1 т органического вещества (по сухой массе) получается 350-600 м³ биогаза. КПД превращения энергии органических веществ в биогаз 80-90 %.

Рабочая среда при работе биогазового реактора расслаивается на три области:

- суспензия, состоящая из твердых частиц органической природы, взвешенных в слое воды;
- светлый слой, состоящий, преимущественно, из воды;
- масляный слой.

Эффективность работы биореактора определяется многими параметрами [1], важнейшими из которых являются температура, интенсивность перемешивания, показатель pH и др.

Предложена математическая модель процессов в реакторе анаэробного сбраживания, которая учитывает особенность трехслойной структуры среды в реакторе в зависимости от очевидной разницы и соответственно отдельно рассчитываемых значений коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи для первого, второго и третьего слоев в реакционном пространстве.

В математической модели учтены различия газовыделений в трех слоях биомассы на основе особенности массотдачи к поверхности образуемого пузырька генерируемого в процессе биосинтеза газа при помощи коэффициента массоотдачи в уравнении Буссинеска.

Модель в полной мере построена с учетом зависимости теплофизических и других характеристик слоев от состава питающей смеси посредством учета плотности, динамической вязкости, теплоемкости, теплопроводности слоев и частиц, распределенных в биореакторе.

Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов. Использование предлагаемой технологии переработки пищевых коммунально-бытовых отходов позволит одновременно решить пять важнейших проблем:

- экологическую (полная утилизация пищевых коммунально-бытовых отходов, что приведет к снижению негативного воздействия на окружающую среду);
- энергетическую (получение биогаза);
- агрохимическую (получение удобрений);
- социальную (дополнительные рабочие места для осуществления работ по переработке отходов: операторы, автоматчики, механики, управленческий персонал);
- экономическую (рост объема услуг, оказываемых в сфере обращения с отходами; получение прибыли от реализации вторичной топливной продукции – биогаза и жидких удобрений).

Срок окупаемости биоустановки по переработке 58 т в сутки пищевых отходов составляет около 2 лет.

Разработаны основы технологии утилизации коммунально-бытовых отходов методом анаэробного сбраживания. Разработана установка анаэробного сбраживания пищевых коммунально-бытовых отходов. Она состоит из следующих элементов: камеры сбраживания (реактора, ферментатора, метантенка), нагревательного устройства (теплообменника), устройства для перемешивания и газгольдера. Осуществлен подбор консорциума микроорганизмов для утилизации пищевых коммунально-бытовых отходов методом анаэробного сбраживания. Обозначены условия осуществления анаэробного сбраживания. Разработана математическая модель тепло- и массообменных процессов в реакторе анаэробного сбраживания.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 14.515.11.0089)

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Родионова, А.А. Оптимизация процесса получения биотоплива методом анаэробного сбраживания органических отходов [Текст] / А.А. Родионова, А.В. Жучков // Материалы Международной научно-практической интернет-

конференции, посвященной 50-летию кафедры "Процессы и аппараты в пищевых и химических производствах" «Энергосберегающие процессы и аппараты в пищевых и химических производствах (ЭПАХПП-2011)», Воронеж, 26-28 сент., 2011. - Воронеж, 2011. - С. 356-360.

2 Родионова, А.А. Разработка научных основ технологии биоконверсии многокомпонентного органического сырья в энергоносители [Текст] / А.А. Родионова, А.В. Жучков // Актуальная биотехнология. - 2013. - №1(4). - С.46 – 48.

3 Жучков, А.В. Перспектива получения топлива и энергии методом анаэробного сбраживания [Текст] / А.В. Жучков, А.А. Родионова, И.Е. Шабанов // Труды научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсоснабжения». - Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГУ», 2011. - Вып. 13. – С. 64.

4 Ракитова, О. Государство и биоэнергетика [Текст] / О. Ракитова // Альтернативная энергетика. - 2007. - № 5-6. - С. 5-10.

cated to the 50th Anniversary of "Processes and devices for food and chemical industries", "Energy saving processes and devices in the food and chemical industries (ESPDFCI -2011)", Voronezh, 26-28 Sep., 2011. - Voronezh, 2011. - P. 356-360.

2 Rodionova, A.A. Development of scientific bases bioconversion technology multicomponent organic materials in energy [Text] / A.A. Rodionova, A.V. Zhuchkov // Actual biotechnology. - 2013. - № 1 (4). - P.46-48.

3 Zhuchkov, A.V. The prospect of fuel and energy by anaerobic digestion [Text] / A.V. Zhuchkov, A.A. Rodionova, I.E. Shabanov // Proceedings of the scientific-technical conference of young scientists and students " Physical and technical problems of energy, environment, energy and resource supply". – Voronezh: VSTU, 2011. - № 13. - P. 64.

4 Rakitova, O. State and bioenergy [Text] / O. Rakitova / Alternative Energy. - 2007. - № 5-6. - P. 5-10.

REFERENCES

1 Rodionova, A.A. Optimization of the process of biofuel production by anaerobic digestion of organic waste [Text] / A.A. Rodionova, A.V. Zhuchkov // Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference dedi