

УДК 662.7

## ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

**Морозенко Д.Н., Кусачева С.А., Черняев С.И.**

*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана», Калуга, e-mail: fn2kf@bk.ru*

В открытых экологических системах пищевые отходы растительного происхождения формируют значительную долю твердых бытовых отходов. Депонирование этих отходов способствует созданию напряженной экологической и эпидемиологической ситуации в отдельных населенных пунктах, регионах. В данной работе рассматривается возможность применения технологии микробиологической утилизации пищевых отходов для получения электрической и тепловой энергии с использованием малоразмерных газотурбинных двигателей. Процесс микробной биодegradации отходов за счет разрушения органического субстрата различными микроорганизмами позволяет значительно уменьшить объемы органических отходов с минимальными затратами и с образованием дешевых энергоносителей – биологических газов. Биогаз может быть использован в когенерационных установках, что позволяет увеличить общий коэффициент использования тепла топлива, способствует более рациональному использованию природных ресурсов с одновременным решением актуальных проблем в области охраны окружающей среды, связанных с переработкой отходов растительного происхождения с выделением заключенной в них энергии.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, утилизация отходов, биогаз, когенерация

## PRODUCTION OF ELECTRICITY AND HEAT IN THE SOLID WASTE UTILISATION

**Morozenko D.N., Kusacheva S.A., Chernyaev S.I.**

*Kaluga Branch of «Moscow State Technical University named after N.Ye. Bauman»,  
Kaluga, e-mail: fn2kf@bk.ru*

In open ecological systems, food waste of vegetative character forms a significant proportion of municipal solid waste. Deposition of such waste contributes to the creation of acute environmental and epidemiological situation in certain settlements, regions. In this paper we consider the possibility of using microbial technology recycling food waste to produce electricity and heat using a small-size gas turbine engines. The process of microbial biodegradation of waste due to the destruction of the organic substrate by various microorganisms can significantly reduce the amount of organic waste with minimal expenses and generating electric carrier such as biological gases. Biogas can be used in cogeneration plants, which can lead to increasing the total coefficient of fuel heat usage and more rational usage of natural resources simultaneously solving acute problems in environment protection connected with vegetative waste recycling emitting energy contained.

**Keywords:** alternative energy sources, waste disposal, biogas, cogeneration

В настоящее время происходит кардинальное переосмысление перспективной модели энергоснабжения и вопросов модернизации российской энергетики. Расширение использования местных и альтернативных источников энергии, внедрения перспективных технологий малой распределённой генерации являются важнейшими направлениями государственной энергетической политики страны. Так, решением Комитета Государственной Думы по энергетике № 3.25-5/114 от 16 декабря 2015 года, были утверждены рекомендации, сформулированные в ходе «круглого стола» на тему: «О мерах по совершенствованию законодательства, обеспечивающих развитие малой распределенной энергетики в Российской Федерации». Участниками «круглого стола» было отмечено, что в связи с ростом разнообразия требований потребителей к качеству энергоснабжения, с появлением и активным развитием технологий малой распределенной энергетики и интеллектуальных

электроэнергетических систем стали четко просматриваться недостатки российской модели централизованного электроснабжения от крупных источников и теплоснабжения от котельных. К таким недостаткам относятся: низкое качество электроснабжения потребителей; высокая частота аварийных отключений; высокая степень износа электрогенерирующего оборудования; большие объемы выбросов загрязняющих веществ и теплового загрязнения от крупных источников; необоснованно высокие цены на электроэнергию и тарифы на тепло для потребителей, порождаемые следующими факторами: высокими потерями в электрических сетях; низкой топливной эффективностью конденсационных электрогенерирующих установок по сравнению с когенерационными установками; низкой эффективностью использования топлива в котельных по сравнению с высокотемпературными когенерационными установками на базе современных газовых турбин [12].

Когенераторы (агрегаты для комплексного производства тепла и электроэнергии), являются конкурентной альтернативой существующему энергоснабжению, т.к. эффективность использования ими энергетических ресурсов (газ, нефть) на 20–30% выше, чем у оборудования, вырабатывающего, либо только электроэнергию, либо только тепло. Их экономическую привлекательность обеспечивает скорость окупаемости, которая является определяющим конкурентным преимуществом, ведь затраты на проектирование, закупку, ввод в эксплуатацию и амортизацию когенераторов окупаются уже на 2–3 году эксплуатации при расчетном сроке службы оборудования 25–30 лет (180–200 тысяч часов). Когенераторы обладают замечательными особенностями: дешевизной электро- и теплоэнергии, близостью к потребителю, отсутствием необходимости в дорогостоящих ЛЭП и подстанциях, экологической безопасностью, мобильностью, легкостью монтажа и многими другими факторами. Сферами их возможного применения являются: промышленные предприятия, сельское хозяйство, сфера обслуживания, гостиницы, торговые и административные центры, жилые массивы, частные дома, больницы, курортные и лечебные заведения, бассейны, спортивные центры др. [4].

В условиях постоянного роста цен на энергоресурсы, а также в связи с истощаемостью запасов органического топлива, одной из актуальных проблем науки, техники, экономики и экологии, является создание энергетических установок на возобновляемых видах топлива. Ожидаемый, в ближайшем будущем, дефицит ископаемого топлива, заставляет все больше внимания уделять технологиям переработки ТБО с выделением, заключенной в них энергии.

В данной работе рассматривается возможность применения технологии микробиологической утилизации пищевых отходов для получения электрической и тепловой энергии с использованием малогабаритных газотурбинных двигателей. В качестве топлива для преобразования химической энергии в электроэнергию, а возможно и теплоту, традиционно в газотурбинных установках применяется природный газ. Но возможно применение и альтернативных видов топлива, прежде всего различных видов биогаза. Биогаз предлагается получать на основе технологии микробиологической утилизации пищевых отходов [5, 6, 9].

Следует отметить, что аналогичные исследования и разработки осуществляются учеными всего мира. Например, основными

направлениями использования биомассы для энергетики в ЕС являются: производство пиллет (горючих брикетов) и древесной щепы (прямое сжигание); газификация и пиролиз («синтез»-газ, по-европейски – «биосингаз», сингаз, метанол для транспорта); производство биоэтанола, биодизельного топлива, биоводорода и биогаза [10, 11]. Направления использования биогаза в мире и в нашей стране обширны – от непосредственного сжигания в тепловых установках различной производительности до совместной выработки тепловой и электрической энергии или подпитки биогазом сетей природного газа [5, 6, 9, 15]. Так, Европейская Комиссия приняла решение повысить к 2020 г. долю биотоплива для транспорта до 10%. Это должно было снизить зависимость от поставок нефти и газа и одновременно сократить выбросы углекислого газа в атмосферу. В конце 2012 г. ЕС принял Директиву, ограничивающую долю биотоплива первого поколения (получаемого из того же сырья, которое используется для производства продуктов питания) с 10 до 5% к 2020 г. и поощряющую разработку биотоплива второго, не вступающего в конкуренцию с производством продуктов питания, поколения (из соломы, отходов сельского хозяйства, древесины и пр.). После 2020 г. финансирование со стороны ЕС будет получать только биотопливо, способствующее экономии парниковых газов (должно выделяться минимум на 35% меньше парниковых газов, чем у ископаемого топлива) и производимое из непищевых растений и биомассы. Новая Директива ЕС по возобновляемой энергетике направлена на предотвращение прямого использования лесов, водно-болотных угодий и территорий с высокой ценностью для производства биотоплива [2, 7].

В России ежегодное количество органических отходов составляет более 390 млн. тонн, в том числе сельскохозяйственных – более 250 млн т. Во многих городах и регионах России, остро стоят проблемы размещения, утилизации и переработки ТБО. Например, в г. Калуге, согласно имеющимся данным, образуется широкий спектр отходов производства и потребления, различных видов и всех классов опасности. В среднем, на 343 предприятиях города Калуги, в течение календарного года образовывается 932867,18 тонн опасных отходов, представленных 391 видом отходов согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (Приказ МПР России № 786 от 02.12.2002 г.) [3, 9, 13].

Интерес к использованию биогаза, получаемого в процессе биодegradации от-

ходов жизнедеятельности, как одного из перспективных альтернативных источников энергии, в последние годы, продолжает возрастать. Вопросы непосредственного использования биогаза тесно связаны с источниками его получения, которые в свою очередь, находятся в местах накопления большого количества органических отходов. Поэтому способы утилизации биогаза определяются в первую очередь потребностями в энергии самих установок или комплексов по переработке отходов. Биогаз, представляющий собой смесь метана и углекислого газа – экологически чистое топливо, позволяющее при современном технологическом и техническом уровне радикально снизить загрязнение атмосферы, в частности, парниковыми газами. Концентрация метана в биогазе, получаемом в результате применения рассматриваемой технологии микробиологической утилизации отходов, может достигать 85–90%. Следует также отметить, что интенсивность газообразования и процентное содержание метана в биогазе находится в прямой зависимости от количества субстрата, подвергнувшегося переработке. Максимальное накопление биогаза и содержание в нем метана регистрировалось при наличии в биореакторе 40 об. % субстрата.

Микробиологическая деградация представляет собой естественный способ утилизации бытовых отходов. Эта система создана природой для обеспечения процессов самоочищения и веками использовалась человеком для переработки бытовых отходов в естественных условиях. Большинство натуральных или синтетических органических отходов, способны подвергаться микробной биодegradации. В открытых экологических системах пищевые отходы растительного происхождения формируют значительную долю твердых бытовых отходов. Метод микробиологической деградации бытовых отходов основывается на разрушении органического субстрата различными микроорганизмами. Декомпозиция отходов происходит либо аэробным путем (компостирование) или анаэробным путем (с образованием биогаза) и проявляется в уменьшении объемов твердого органического субстрата, подлежащего биодegradации. Для этой цели используют специально селекционированные микроорганизмы. Преимущество метода заключается в том, что он позволяет значительно уменьшить объемы органических бытовых отходов. Образующиеся в процессе биодegradации газы, могут быть использованы в качестве дешевых энергоносителей, которые предлагается использовать в когенера-

торах [1, 14, 16]. Следует отметить также, что микробиологические методы утилизации отходов, являются менее затратными, по сравнению с физико-химическими, поскольку не требуют большого энергопотребления. Такая система утилизации является активной, саморегулирующейся и, что немаловажно, низко энергоёмкой.

В Калужском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана в течении ряда лет проводятся исследования микробиологической утилизации отходов растительного происхождения [5, 9]. На рис. 1 показан лабораторный образец биореактора, имеющего цилиндрический корпус из оргстекла (рабочий объем – 3 л), снабженного нагревательным элементом. Корпус биореактора герметично закрывается крышкой, снабженной штуцерами для вывода биогаза в ресивер и на линию сброса, а также вентилем для продувки азотом.



Рис. 1. Биореактор. Лабораторный образец

На рис. 2 представлена схема биоэнергетической установки, предназначенной для получения биогаза посредством микробиологической утилизации бытовых отходов и производства электрической энергии.

Принципиальная схема еще более эффективной биоэнергетической установки, позволяющей обеспечить использование энергетического потенциала биогаза для получения двух видов энергии – тепловой и электрической (когенерация) показана на рис. 3.

Главное преимущество когенерационной установки состоит в том, что использование

энергии биогаза здесь происходит с гораздо большей эффективностью, в результате чего снижается потребность в первичном топливе. Инвестиции в когенераторы окупаются значительно быстрее, чем капиталовложения в объекты «большой» энергетики: затраты на проектирование, закупку, ввод в эксплуатацию и амортизацию когенераторов. Это связано с их применением в системах локальной генерации электроэнергии и тепла, позволяющих обеспечить платежеспособный спрос в энергоснабжении [13]. Использование биогаза в энергетических установках может быть экономически целесообразным при получении биогаза с определенными свойствами: содержание метана;

давление биогаза; постоянство качества газа (константный состав и давление биогаза) оказывает влияние на стабильность работы установки; теплота сгорания или теплотворная способность газа как топлива; пределы взрываемости биогаза, определяющие необходимость исключения образования взрывоопасных газозвдушных концентраций; при содержании метана в воздухе в пределах от 5 до 15% образуется взрывоопасная концентрация; содержание вредных веществ (прежде всего соединений серы, фтора и хлора), которые могут вызвать коррозию компонентов газозвдушного тракта и внутренних поверхностей газотурбинного двигателя, соприкасающихся со смазочным маслом [8, 9].

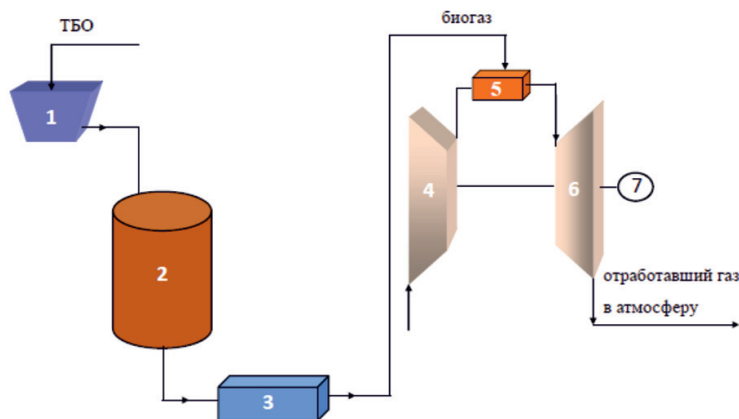


Рис. 2. Биоэнергетическая установка с использованием технологии микробиологической утилизации бытовых отходов для производства электроэнергии (1 – система сортировки и подачи бытовых отходов; 2 – установка микробиологической утилизации ТБО; 3 – газгольдер; 4 – компрессор; 5 – камера сгорания; 6 – газовая турбина; 7 – электрогенератор)

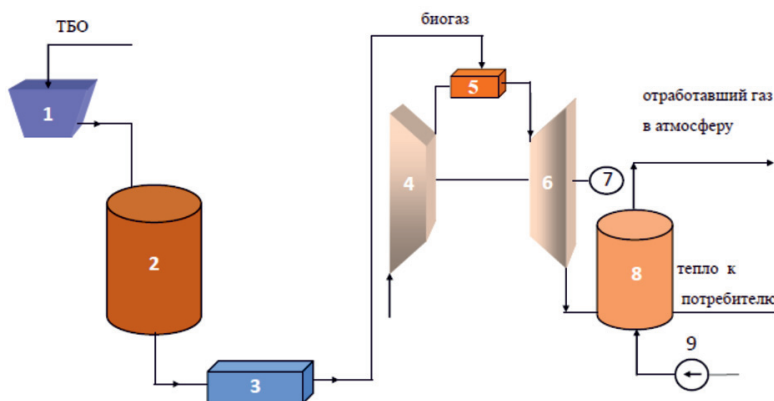


Рис. 3. Биоэнергетическая установка с использованием технологии микробиологической утилизации отходов для комбинированного производства электрической и тепловой энергии (1 – система сортировки и подачи бытовых отходов; 2 – установка микробиологической утилизации ТБО; 3 – газгольдер; 4 – компрессор; 5 – камера сгорания; 6 – газовая турбина; 7 – электрогенератор; 8 – утилизационный паровой (водогрейный котел); 9 – питательный насос)

Безусловно, превалирующую роль, при проведении исследований, играют экологические ориентиры, обусловившие вектор комплексного производства электрической и тепловой энергии на базе малоразмерных газотурбинных установок. Использование биотоплива позволяет рассчитывать на снижение содержания токсичных веществ  $\text{CO}_x$  и  $\text{NO}_x$  в выхлопных газах.

В<sup>х</sup> заключение, следует отметить, что одним из стратегических направлений реализации экологических преобразований в России является развитие предпринимательства. Под экологическим предпринимательством подразумевается деятельность по производству и реализации товаров, осуществлению работ и услуг, направленных на предотвращение негативного воздействия на окружающую среду [17]. Производство электроэнергии с применением альтернативных видов топлива с использованием технологии утилизации бытовых отходов позволит получить значительный эколого-экономический эффект, оптимизировать потребление природных ресурсов и будет способствовать стабилизации развития как отдельных отраслей, так и региона в целом. Биогаз может быть использован для удовлетворения потребностей в энергии ближайших к полигону населенных пунктов, а также для собственных нужд полигона. Потенциалом для выработки энергии могут стать органические отходы крупных предприятий, производящих продукты питания. Результаты исследований могут быть реализованы применительно к задачам коммунальных хозяйств городов, предприятий агропромышленного комплекса и отраслей промышленности.

#### Список литературы

- ГОСТ Р 54533-2011. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководящие принципы и методы утилизации полимерных отходов. [Электронный ресурс]. // АО «Кодекс»: сайт. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54533-2011> (дата обращения: 10.05.2016).
- Бояринцева А.А., Попов Н.В. Особенности правового регулирования использования твердого биотоплива в России и за рубежом. // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – № 7(156) том 28. – С. 53–56.
- Доклады о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области. – Калуга: РА «Типограф», ИП Лазарев П.А. 2013–2015 гг.
- Когенераторы – сегмент современной энергетики. [Электронный ресурс]. // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы»: сайт. – Режим доступа: [http://journal.esco.co.ua/2007\\_11/art37.htm](http://journal.esco.co.ua/2007_11/art37.htm) (дата обращения: 12.05.2016).
- Кусачева С.А., Морозенко М.И., Черняев С.И., Жукова Ю.М. Фундаментальные и прикладные аспекты производства биоэлектрической энергии // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6. – С. 479–484.
- Кусачева С.А., Черняев С.И., Сашенко И.И., Гришаква В.В., Жукова Ю.М., Морозенко Д.Н. Обоснование выбора конструкций и материалов системы биоэнергетики электроэнергии. // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5–1.
- Медведкова И.А., Трудаева Т.А. Рынок биотоплива: проблемы и перспективы. // Аналитический журнал «Мосты», авторское издание ICTSD. – 2013. – Вып. 3.
- Морозенко М.И. Исследование эффективности ГТУ с впрыском пара и водогрейным котлом [Текст]: диссертация ... кандидата технических наук: 05.04.12. – Б. м., 2002. – 161 с.
- Морозенко М.И., Черняев С.И., Попова Е.В., Морозенко Д.Н., Карева Е.О. Исследование характеристик генераторного газа при пароплазменной газификации ТБО // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5–1. – С. 141–147.
- Панцхава Е.С. В перспективе Россия – крупнейший поставщик биотоплива на мировой рынок / Е.С. Панцхава, В.А. Пожарнов. // Энергия: экономика, техника, экология. – 2005. – № 6 – С. 10–19.
- Погребняк О.Ю. Перспективы России на мировом рынке биотоплива второго поколения. // Аудит и финансовый анализ. – 2011. – № 5. – С. 398–404.
- Рекомендации «круглого стола» на тему: «О мерах по совершенствованию законодательства, обеспечивающих развитие малой распределенной энергетики в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. // Комитет ГД РФ по энергетике: сайт. – Режим доступа: <http://www.komitet2-13.km.duma.gov.ru/site.xp/053053056124049056056055.html> (дата обращения: 10.05.2016).
- Родионов В.Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего / В.Г. Родионов. – М.: ЭНАС, 2010. – 352 с.
- Сафронова С.А. Эколого-гигиеническое обоснование технологии биodeградации пищевых отходов применительно к задачам жизнеобеспечения гермообъектов и других открытых антропоэкосистем [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук:14.00.32; 03.00.16. – Калуга, 2002. – 20 с.
- Смирнова Т.Г. Мониторинг среды. [Электронный ресурс]. // Учебное пособие : сайт. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/ucebnoeposobimonitoringsredy/rabotadan-issledovatelskim-proektom/biogaz> (дата обращения: 29.04.2016).
- Управление энергией. [Электронный ресурс]. // Ecokotel.ru. Энергетика: сайт. – Режим доступа: <http://www.ecokotel.ru/mp/oena0400org.apxs> (дата обращения: 29.04.2016).
- Черняев С.И. Развитие экологического маркетинга в России и за рубежом. // Экономика. Управление. Право. – М., 2013. – № 5. – С. 3–6.