

ПОЛУЧЕНИЕ БИОГАЗА ИЗ ОПАВШИХ ЛИСТЬЕВ

А. И. Елизаров, О. И. ЛысенкоКременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: fizika@kdu.edu.ua

Рассмотрена возможность утилизации опавших листьев и получения биогаза из растительного сырья городских парков. Количественно определены и проанализированы теплотворные характеристики полученного биогаза. Исследован химический состав растительного субстрата, образовавшегося в результате мезофильного брожения растительной биомассы. Практическое применение растительного субстрата в качестве удобрения изучено на примере проращивания семян овощных культур. Проанализированы перспективы дальнейших исследований для оптимизации режима брожения растительной массы при переработке опавших листьев. Получение биогаза из опавших листьев городских парков и скверов позволяет параллельно решать и энергетические, и экологические, и социальные вопросы, как местного, так и более общего масштабов.

Ключевые слова: биогаз, анаэробные бактерии, мезофильный режим.

ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ОПАЛОГО ЛИСТЯ

О. І. Єлізаров, О. І. ЛисенкоКременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39600, Україна. E-mail: fizika@kdu.edu.ua

Розглянуто можливість утилізації опалого листа та отримання біогазу з рослинної сировини міських парків. Кількісно визначено та проаналізовано теплотворні характеристики отримання біогазу. Досліджено хімічний склад рослинного субстрату, утвореного в результаті мезофільного бродіння рослинної біомаси. Практичне застосування рослинного субстрату як добрива досліджено на прикладі пророщування сем'я овочевих культур. Проаналізовано перспективи подальших досліджень для оптимізації режиму бродіння рослинної маси під час переробки опалого листа. Отримання біогазу з опалого листа міських парків і скверів дозволяє паралельно вирішувати енергетичні, екологічні та соціальні питання, як місцевого, так і більш загального масштабів.

Ключевые слова: біогаз, анаеробні бактерії, мезофільний режим.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Современный уровень развития цивилизации требует значительных объёмов потребления энергии, в том числе нефти и газа, запасы которых интенсивно снижаются. Поэтому поиск альтернативных источников энергии является важной и актуальной задачей. В связи с этим целесообразно создание установок, способных преобразовывать возобновляемую (рассеянную в природе) энергию – воды, ветра, Солнца – в энергию, локализованную в необходимом месте и в таких формах, которые были бы удобны для её использования. Например, солнечная энергия преобразуется в электрическую в полупроводниковых фотоэлементах, в генераторах, работающих от двигателей Стирлинга, энергия ветра – в ветрогенераторах.

Естественными и эффективными накопителями и преобразователями солнечной энергии являются растения. В процессе фотосинтеза растения превращают рассеянные в атмосфере неорганические вещества (прежде всего CO_2 и H_2O) в органические, способные при сжигании выделять теплоту. Но возможен и иной путь освобождения накопленной растениями энергии – это получение биогаза. Технически более выгодно и удобно сжигать биогаз, нежели дрова, сухостой и т.п.

По ранее выполненным расчетам специалистов, в Украине ежегодно образуется более 120 млн. тонн органических отходов по сухой массе. Переработка такого количества отходов может дать только биогаза от 36 до 75 млрд. м^3 , или в пересчете на метан – от 20 до 45 млрд. м^3 в год. В настоящее время в Украине добывается менее 20 млрд. м^3 природного газа при потребности около 70 млрд. м^3 . Использование хотя бы части потенциала отходов позволит сокра-

тит закупки газа, решить ряд экологических проблем и получить в дополнение высококачественные удобрения.

Цель работы – исследование возможностей утилизации растительного сырья городских парков, следствием которой было бы получение биогаза и органических удобрений.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Биогаз образуется при разложении органических субстанций в результате анаэробного микробиологического процесса – метанового брожения. В зависимости от вида органического сырья состав биогаза может меняться, но основой является метан (CH_4) – продукт жизнедеятельности метановых бактерий и углекислый газ (CO_2) – продукт дыхания микроорганизмов [1]. В общем случае, в состав биогаза входят метан, углекислый газ, небольшое количество сероводорода, аммиака, водорода и других газов. Состав биогаза определяет его физические свойства (например, объёмную теплоту сгорания), и, соответственно, возможности его практического использования.

В качестве сырья для промышленного производства биогаза используют разнообразные отходы органического происхождения. Биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, сахарных и спиртовых заводах, мясокомбинатах, при очистке сточных вод мегаполисов [2–4]. Биогазовая установка может заменить ветеринарно-санитарный завод, т.е. падаль может утилизироваться в биогаз вместо производства мясокостной муки. Технологии шагнули так далеко, что дают возможность получить биогаз практически из любого сырья органического происхож-

дения. Например, в Западной Европе более половины всех птицеферм отапливаются биогазом. Volvo и Scania производят автобусы, работающие на биогазе.

Для образования биогаза из растительного сырья необходимо, прежде всего, создание комфортных анаэробных условий для жизнедеятельности трёх видов бактерий. Эти бактерии являются между собой преемниками, т.е. последующий вид питается продуктами жизнедеятельности предыдущего вида. Во-первых, это гидролизные бактерии (они отвечают за процессы разрушения биомассы под диссоциирующим действием воды и температуры), второй вид – кислотообразующие бактерии (они позволяют получить из гидролизированных продуктов молекулы органических кислот) и, наконец, метанообразующие, которые регулируют процессы потребления органических кислот и образования биогаза [5]. В процессе производства биогаза участвуют не только бактерии класса метаногенов, а все три вида.

Экологически важной (и удовлетворительно решенной в Украине) является проблема утилизации листьев, опавших с деревьев в городских парках, сорняков и т. п. Природные процессы разложения биомассы листьев замедлены (рис. 1,а,б) и составляют, в зависимости от влажности среды, более двух лет [4]. Утилизация растительной биомассы в мусоронакопителях требует значительных затрат, а сжигание такого сырья ведёт к загрязнению атмосферы и запрещено законодательно. Поэтому наиболее целесообразным, на наш взгляд, решением проблемы утилизации растительной биомассы (опавших листьев, сорняков и т.п.) явилось бы получение биогаза.

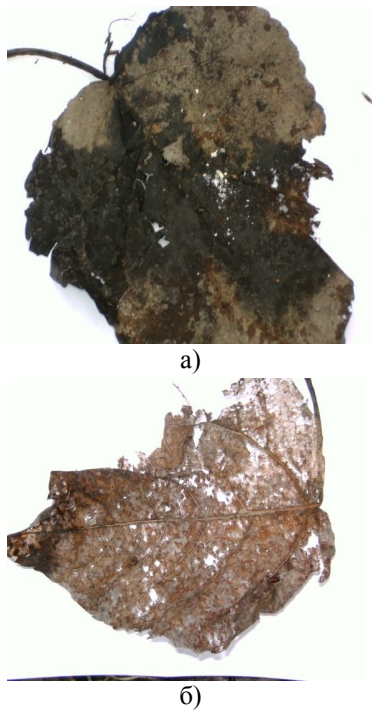


Рисунок 1 – Разложение листьев в естественных условиях в течение полугода во влажной (а) и сухой среде (б)

В связи с вышеизложенным, актуальным являлось определение условий, необходимых для такого процесса разложения опавших листьев, продуктами которого были бы горючий газ и органическое удобрение.

Следует отметить, что животное сырьё для получения биогаза, например, навоз крупного рогатого скота, является достаточно однородной и достаточно измельченной смесью. Бактерии, вырабатывающие метан, изначально содержатся в желудочно-кишечном тракте крупного скота. Существенными преимуществами же растительного сырья являются его доступность (например, опавшие листья в городских парках, сорняки) и экономичность производства биогаза.

В качестве растительного сырья в сентябре–октябре 2012 г. были собраны опавшие листья в Приднепровском парке г. Кременчуг. Растительная смесь в равных пропорциях содержала листья клёна, тополя, ясеня, осины и около 10 % амброзии.

Актуальность утилизации амброзии и других аллергенных сорняков повышается с каждым годом, т.к. количество людей, страдающих от аллергии, ежегодно возрастает. Поэтому одна из задач, поставленных нами в ходе исследований, – это возможность не просто утилизации аллергенного растительного сырья. Перефразируя гайдаевского киногероя: «Пусть то, что нам мешает, нам же и поможет», т.е. – почему бы не получать из сорняков биогаз?

С целью нарушения цельности воскового налёта на листьях и увеличения площади взаимодействия для бактерий, сырьё измельчалось до размеров мелких листьев (3–5 см²). Общая масса сырья составила около 5 кг.

Опавшие листья – «дети» кислородной атмосферы, как правило, промыты дождями, поэтому, в отличие от водорослей, не содержат на своей поверхности анаэробных бактерий. Для заселения питательной среды анаэробными бактериями и оптимизации влажности в растительную массу была добавлена илистая (не проточная) вода из Кременчугского водохранилища в объёме 3,5–4 дм³. С этой целью можно использовать и сточные воды [4]. Катализаторы не добавлялись.

Метановые бактерии проявляют свою жизнедеятельность в пределах температуры от 3–4 °С до 70–90 °С. Если температура выше, они начинают гибнуть, при минусовой температуре они выживают, но прекращают свою жизнедеятельность.

Так как метаболическая активность и уровень воспроизводства метановых бактерий ниже, чем кислотообразующих, при избытке кислот (уровень рН ниже 6,5) снижается активность метановых бактерий.

С другой стороны, возрастание значения рН более 8,0 (избыток аминокислот) также приводит к затуханию процесса метанообразования. Обычно величина рН поддерживается на постоянном уровне. Также для активной жизнедеятельности организмов необходимо поддерживать нормальное давление, например, накапливать биогаз в эластичный резервуар. Влажность исходного сырья должна составлять 85–92 % [2].

Существуют два основных режима гниения – мезофильный (при температуре 25–40 °С) и термофильный (при температуре выше 40 °С) [2]. Для наших исследований был избран наиболее распространённый – мезофильный режим. Влажная растительная смесь была помещена в стеклянную ёмкость объёмом 10 л и поставлена в тёмное место под водяной затвор, перекрывающий доступ воздуха. На протяжении 9–10 недель температура растительной смеси круглосуточно поддерживалась в интервале 28–32 °С. Уровень рН образовавшейся смеси составил 6,5–7,0. Выделяющийся в процессе гниения биогаз накапливался в специальной резиновой камере. Из указанной массы растительной смеси (около 5 кг) в течение 1,5 месяцев выделилось порядка 9–10 дм³ биогаза при нормальном атмосферном давлении.

Удельная теплота сгорания полученного биогаза определена экспериментально с помощью эталонного теплоприёмника. Указанная величина определяется, в основном, содержанием метана, поскольку незначительные количества водорода и сероводорода на этот показатель практически не влияют. Для полученного биогаза теплотворная способность составила 9,6 МДж/кг, или 2,3 ккал/л. Для сравнения: коксгаз – 16 МДж/кг, природный газ – 35 МДж/кг [1, 4]. Теплотворная способность биогаза, содержащего 70 % метана, составляет 25,1 кДж/дм³, или 5,99 ккал/л [4]. Не исключено, что оптимизация режима гниения позволит увеличить процентное содержание метана, и, следовательно, калорийность биогаза.

Следует отметить, что энергетическое использование биогаза по сравнению со сжиганием природного газа, сжиженного газа, нефти и угля является нейтральным по отношению к СО₂, поскольку выделяемый углекислый газ пребывает в пределах естественного круговорота углерода и потребляется растениями на протяжении вегетационного периода. Таким образом, концентрация углекислого газа в атмосфере, по сравнению с использованием твёрдого топлива, не увеличивается. К тому же энергия, полученная из биогаза, принадлежит к возобновляемой, поскольку производится из органического возобновляемого субстрата.

Основными направлениями использования биогаза являются:

- 1) выработка электроэнергии;
- 2) сжигание биогаза в котельных установках для нагрева воды и подачи её потребителям;
- 3) подготовка биогаза в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и подача его в газораспределительные сети местных потребителей природного газа (смешивание с природным газом);

4) очистка, сжатие и заправка биогазом газобаллонных автомобилей, тракторов и других видов транспорта;

5) получения питательной биомассы в качестве удобрения.

Выбор направления использования биогаза определяется в каждом конкретном случае для каждого хозяйства. На сегодняшний день наиболее остро стоит вопрос обеспечения хозяйств электроэнергией и сжигания биогаза в подогревателях воды.

В процессе получения биогаза из растительного сырья, в частности, из опавших листьев, образуется перегнившая масса, которую можно и нужно использовать в качестве высококалорийного органического удобрения. Ранее выполненные научные ис-

следования показывают, что получаемая биомасса не содержит семян сорных растений, яиц гельминтов и других вредителей. В зависимости от состава исходного сырья, от типа почвы, а также от культуры, под которую планируется внесение удобрений, получаемый растительный субстрат можно обогащать азотом, фосфорным, калийным сырьём. При этом расход удобрений составит 1–5 тонн на гектар, вместо 50–60 тонн необработанного навоза [4]. Качество получаемых удобрений в итоге повышает урожайность почвы и снижает затраты на приобретение дорогостоящих минеральных удобрений. В некоторых хозяйствах выгоднее производить и реализовывать получаемое удобрение, чем мясо или молоко. Также следует отметить экологическое качество сельхозпродукции, выращиваемой с применением таких удобрений.

Химический состав полученной нами перегнившей растительной биомассы был исследован с помощью высокоточного атомно-абсорбционного спектрометра с источником излучения непрерывного спектра типа Contr AAR 700. Результаты анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Содержание некоторых металлов в растительном субстрате

Химический элемент	Концентрация, мг/дм ³
Алюминий	0,07
Барий	2,48
Ванадий	0,05
Железо	1,09
Калий	1968,75
Кобальт	0
Кремний	81,25
Магний	393,75
Медь	0
Молибден	0
Натрий	1006,25
Никель	0
Свинец	0
Хром	0
Цинк	0

Важной особенностью полученного субстрата является отсутствие в составе тяжёлых металлов, возможно, это следствие сбора исходного сырья не в промышленной зоне города. Для более детального анализа соответствия содержания в сырье тяжёлых металлов в зависимости от района города и обобщенных выводов требуются дальнейшие исследования.

Образовавшийся субстрат был использован в качестве питательной смеси для проращивания семян овощных культур. В ёмкости с почвосмесью высевались семена (по 20 шт.) распространенных овощных культур. Для сравнения такие же семена проращивались в обычном грунте (почва взята в городской черте) без питательной смеси и других добавок.

При прочих равных условиях всхожесть семян при наличии питательной смеси – 100 % (рис. 2,а), в обычном грунте – 40–70 % (рис. 2,б), сроки произ-

растения и созревания также отличаются. Например, семена огурцов, арбуза и тыквы дали всходы на 1–2 дня ранее при внесении в почву растительного суб-

страта. При пересадке рассады в открытый грунт первые ростки (на фото слева) оказались более устойчивы к жаркой, сухой погоде.



а)



б)

Рисунок 2 – Ростки тыквы, пророщенные с добавлением в грунт субстрата (а) и в обычном грунте (б)

ВЫВОДЫ. Биогаз можно успешно получать из растительного сырья парковых пород деревьев, сорняков, в частности, – из опавших листьев. По сути – это экологически чистое топливо, сходное по своим характеристикам с природным газом. Теплотворные характеристики получаемого биогаза указывают на экономичность его производства. Оставшийся субстрат можно использовать в качестве эффективного удобрения.

Использование такого сырья позволяет параллельно решать и энергетические, и экологические, и социальные вопросы, как местного, так и более общего масштабов.

Во-первых, производство биогаза из опавших листьев способствует эффективной утилизации такого сырья и улучшению экологической обстановки. Утилизация листьев способом мезофильного сбраживания с последующим сжиганием биогаза уменьшает выброс парниковых газов.

Во-вторых, при растущих ценах на энергоносители, реализация проекта по добыче биогаза из опавших листьев станет альтернативой объектам

традиционной энергетики и начнет приносить прибыль через несколько лет.

В-третьих, развитие биогазовой энергетики решает проблемы занятости, способствует развитию энергетической инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газы природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. ГОСТ 5542-87.
2. Малофеев В. М. Биотехнология и охрана окружающей среды: Учебное пособие. – М.: Арктос, 1998. – 188 с.
3. Благутина В. В. Биоресурсы // Химия и жизнь – 2007. – №1. – С. 36–39.
4. Мариненко Е.Е. Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве: учебное пособие. – Волгоград: ВолгГАСА, 2003. – 100 с.
5. Елинов Н.П. Химическая микробиология: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1989. – 448 с.

LEAF LITTER BIOGAS PRODUCTION

A. Yelizarov, O. Lysenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
vul. Pershotravneva 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: olga.lysenko07@mail.ru

The authors have considered the process of leaf litter utilization and biogas production from plant raw materials of city parks. The heat-producing characteristics of the biogas obtained were analyzed and defined quantitatively. The composition of the plant substrate obtained from plant biomass via mesophilic fermentation was studied. Practical application of plant substrate for fertilization was investigated on the example of sprouting of vegetable seeds. Future prospects of further research development were analyzed with a view of mode optimization of plant biomass fermentation during leaf litter processing. Leaf litter biogas production using plant raw materials of city parks allows for complex solution of ecological, energetic, and social problems both at regional and higher levels.

Key words: biogas, anaerobic bacteria, mesophilic mode.

REFERENCES

1. Natural gases for industrial and municipal use. GOST 5542–87.
2. Malofeev, V.M. (1998), *Biotechnologiya i okhrana okruzhayuschei sredy* [Biotechnology and natural protection], Tutorial, Arktos, Moscow, Russia.
3. Blagutina V.V. (2007), “Bioresources”, *Chimiya i zhizn*, no.1, pp. 36–39.
4. Marinenko, E.E. (2003), *Osnovy polucheniya i ispolzovaniya biotopliva dlia resheniya voprosov ener-*

gosberezheniya i ohrany okruzhayuschei sredy v zhilishchno-kommunalnom i selskom hoziaistve [Principles of biofuel production and use in order to solve problems of energy-saving and natural protection in municipal and agricultural industries], Tutorial, VolgGASA, Volgograd, Russia.

5. Elinov N.P. (1989), *Chimicheskaya mikrobiologiya* [Chemical microbiology], Tutorial, Vysshaya shkola, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 26.07.2013.