

УДК 620.92:339.13.017

## АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

**Курнакова Н.Ю., Католиченко Д.С., Сухарев О., Волхонский А.А.**

*ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: kurnatalya82@mail.ru*

Настоящая статья посвящена вопросам развития производства и использования биогаза. Приведены данные по получению биологического топлива в разных странах мира, а также информация по развитию данной отрасли в Российской Федерации. Осуществлен анализ сырья с целью изготовления биомассы для производства биотоплива. Рассмотрены основные условия технологического процесса получения биологического газа. Приведены данные по выходу биогаза из разных категорий сырья. Рассмотрены условия улучшения экологического и энергетического положения при биопереработке и утилизации отходов агропромышленных комплексов и твердых бытовых отходов как в России, так и во всем мире. Показано направление развития энергетической отрасли – строительство когенерационных электростанций, работающих на базе микротурбинного оборудования. Разработка энергетических установок для производства тепловой и электрической энергии на основе топливных элементов.

**Ключевые слова:** биотопливо, биомасса, сельскохозяйственные и твердые бытовые отходы, биоэнергетические установки, альтернативные источники энергии

## ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF BIOENERGY FUEL

**Kurnakova N.Yu., Katolichenko D.S., Sukharev O., Volkhonskiy A.A.**

*Federal State Platov South Russian State Polytechnic University (NPI),  
Novocherkassk, e-mail: kurnatalya82@mail.ru*

The present article is devoted to the development of the production and use of biogas. Data are given on production of biological fuel in different countries, as well as information on the development of this industry in the Russian Federation. The analysis of the raw material to produce biomass for production of biofuels. Considered the basic conditions of technological process of production of biological gas. The data for biogas yield from different raw material categories. The conditions for improving environmental and energy Bioprocessing and utilization of waste agro-industrial complexes and municipal solid waste in Russia and around the world. Indicate the direction of development of the energy sector – construction of cogeneration power plants based on microturbine equipment. Development of power plants for production of thermal and electric energy based on fuel cells.

**Keywords:** biofuels, biomass, agricultural and municipal solid waste, bio-power plants, alternative energy sources

Энергообеспеченность является основной проблемой развития современного технологического общества. Одним из первых на необходимость качественного изменения энергетики и развития альтернативных источников энергии указал лауреат Нобелевской премии академик Н.Н. Семёнов [1]. В настоящее время ставится вопрос о глобальной энергетической безопасности и проведении антикризисной энергетической политики. Существенную и всевозрастающую роль в мировой энергетике играют возобновляемые источники энергии. Принципиальным стимулом к развитию биотопливной индустрии являются экологические преимущества использования биотоплива. Биотоплива – продукты фотосинтетического восстановления  $\text{CO}_2$ , крупномасштабное производство и использование которых вместо углеводородного топлива может обеспечить стабилизацию существующего уровня накопления диоксида углерода в атмосфере и предотвратить его рост.

Постоянное увеличение цен на отдельные энергоресурсы обусловило значительный интерес к получению энергии при использовании технологии биоконверсии органических отходов [2].

Одним из видов биоэнергетического топлива является биогаз. Биогаз – горючая газовая смесь, получаемая в результате анаэробного микробиологического процесса (метанового брожения) при разложении органических субстанций.

Сырьем для производства биогаза является большой спектр органических отходов – жидкие и твердые отходы сельскохозяйственного комплекса, твердые бытовые отходы, отходы лесопромышленного производства, сточные воды [2, 3].

Биогаз в основном используется для получения электроэнергии и тепла (при использовании когенерационной установки). В результате очистки биогаза от углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ) получается биометан, который является полным

аналогом природного газа и может закачиваться в газопровод. В некоторых странах биогаз в небольшом объеме используется в качестве топлива для автотранспорта (в основном для общественного).

Во всем мире наблюдается рост использования биогаза для производства электроэнергии и тепла. Производство и использование биогаза наиболее развито в странах ОЭСР, в связи с тем, что именно развитые страны первыми разработали и внедрили программы перехода к возобновляемым источникам энергии и активно поддерживали инициативы, направленные на внедрение новых технологий.

Лидерами по производству биогаза являются страны Европейского союза. Европейский рынок биогазовых установок в 2012 году оценивался в 2 млрд долларов США, согласно прогнозам он должен увеличиться до 25 млрд к 2020 году (сейчас он составляет 14%; доля отапливаемого с помощью ВИЭ жилья в общем объеме строительства возросла за 4 года с 5% до 26%). В европейских странах 75% биогаза получают из отходов сельскохозяйственной отрасли, 17% – из органических отходов частных домохозяйств и предприятий, еще 8% – из отходов сточных вод (установки в канализационно-очистных сооружениях).

По количеству действующих биогазовых заводов первое место занимает Германия. Всего 7% производимого предприятиями биогаза поступает в газопроводы, остальное – используется для собственных нужд производителя.

По применению биогаза лидирует Дания: этот вид топлива обеспечивает почти 20% энергопотребления страны. Среди других европейских стран с большими темпами производства биогаза можно выделить Великобританию, Швецию, Норвегию, Италию, Францию, Испанию, Польшу и Украину.

В США по сравнению с Европой рынок биогаза развивается значительно медленнее. Несмотря на наличие большого числа ферм, на территории страны действует всего около 200 биогазовых заводов, работающих на отходах сельскохозяйственных комплексов.

Производство биогаза в Азии осуществляется с меньшими масштабами (в основном мини-установки для индивидуального использования: для получения газа с целью приготовления пищи и реже для обогрева одного домохозяйства). Но темпы развития индустрии в Китае, Вьетнаме, Индии, Непале, некоторых африканских странах воз-

растают. В Африке и Азии основной объем биогаза производят из пищевых отходов, также отходов жизнедеятельности человека (канализация).

Среди развивающихся стран лидером по использованию биогаза является Китай, где постоянно работает более 20 млн биогазовых установок, размещенных на канализациях и свалках. Весь объем получаемого газа расходуется производителями, работы по подключению малых установок к газопроводу пока не осуществляются. К 2020 году мировым лидером при сохранении текущих темпов роста биогазовой индустрии станет Китай.

В африканских странах работает около 2 млн биогазовых предприятий, которые обеспечивают газом более 10 млн человек. Порядка 80% твердого остатка, образуемого в результате работы установок, используется в качестве удобрения. Согласно данным экспертов, емкость биогазового рынка в Африке составляет 20 млн установок.

К сожалению, в России, обладающей большими запасами природных ресурсов, в том числе и углеводородов, государство уделяет значительно меньше внимания альтернативной энергетике, хотя централизованным энергоснабжением охвачена лишь треть территории страны, а две трети находятся в зоне децентрализованного и автономного энергоснабжения, где проживают около 20 млн чел. [4]. При этом Российская Федерация имеет хорошие предпосылки для эффективного развития сектора биоэнергетики, поскольку обладает большим потенциалом биомассы, доступной для производства энергии. Основными способами использования отходов растениеводства и животноводства является получение из них органических удобрений путем естественного перегнивания. До сих пор отходы свиноводческого комплекса не находят квалифицированного применения даже в виде удобрений, что приводит к экологическим и техническим сложностям при их хранении и утилизации.

Ежегодно в России образуется большое количество отходов агропромышленного комплекса, что приводит к загрязнению окружающей среды. В настоящее время этот огромный потенциал используется не более чем на 25%. Решением данной проблемы на сегодняшний день является биотехнологическая переработка отходов агропромышленного комплекса в высококачественные экологически чистые удобрения и топливный биогаз.

В настоящее время потенциал российского рынка биогаза составляет более \$18 млрд. Ежегодно фактические показатели производства биологического газа составляют 14 млрд м<sup>3</sup>, что эквивалентно 9,5 млрд м<sup>3</sup> природного газа. Данные объемы производства биогаза позволяют выработать порядка 63 млрд кВт·ч электроэнергии. Но в результате переработки образующихся отходов можно получить около 80 млрд м<sup>3</sup> биогаза, что дает возможность выработать более 360 млрд кВт·ч электроэнергии в год.

Биогаз является сырьем для производства ценного вида топлива, так называемого биометана [5]. В результате очистки биологического газа от углекислого газа биометан можно применять в качестве газообразного топлива для двигателей внутреннего сгорания, что будет способствовать сокращению выбросов токсичных веществ по сравнению с бензином и улучшению экологической обстановки в стране. Итак, выбросы в окружающую среду оксида углерода уменьшаются в 5–10 раз, а оксида азота в 1,5–2,5.

Во многих странах мира используется большое количество установок, перерабатывающих отходы сельскохозяйственных комплексов: от небольших животноводческих хозяйств до биоэнергетических комплексов для крупных фермерских хозяйств (до 110 тыс. животных). Биогазовые установки для маленьких животноводческих хозяйств обеспечивают их потребность в энергии на 100% летом и на 50% зимой. Производительность биоэнергетических комплексов дает возможность обеспечивать тепловой и электроэнергией не только собственные нужды, но и реализовывать их другим потребителям.

Внедрение и развитие технологий биопереработки отходов агропромышленных комплексов позволяет решить проблему энергообеспеченности в сельскохозяйственном секторе России, что является экономически выгодным для производителей, а также достигается экологический эффект улучшения окружающей среды.

Еще одной из актуальных проблем, как в России, так и в мире, является необходимость переработки твердых бытовых отходов с целью улучшения экологического и энергетического положения. Но решение данного вопроса возможно при работе научного сообщества и активной поддержке на федеральном и региональном уровнях.

Развитие индустрии по биопереработке органических отходов возможно на основе комплексного анализа образующихся объемов и территориальной плотности рас-

пределения отходов, а также структуры и емкости рынка биоустановок и биоэнергетических комплексов.

В настоящее время суммарное производство в мире первичных топливно-энергетических ресурсов составляет около 13 млрд т у.т., из них возобновляемые источники энергии составляют около 3%, к которым относят и твердые бытовые отходы (ТБО) [6].

Количество образующихся ТБО в мире достигает колоссальных масштабов – вместе с мусором в геосферу попадает более 85 млн т углерода [7]. В современном городе накопление ТБО составляет 250–700 кг/чел. в год. Ежегодно в развитых странах мира эти данные возрастают на 4–6%, что втрое превышает темпы прироста населения.

На территории России каждый год образуется около 79 млн т ТБО, согласно аналитическим данным к 2030 году прогнозируется их увеличение до 115 млн т. Топливо, получаемое из ТБО, по теплоте сгорания приближается к низкокалорийным углям, не требует финансовых затрат на добычу и может занять достойное место в экономике страны. Низшая теплота сгорания ТБО в зависимости от времени года и региона изменяется в пределах 4180–10450 кДж/кг.

Утилизация ТБО в больших объемах – достаточно сложный процесс. Наиболее экономически выгодным вариантом решения данного вопроса является применение технологии переработки пищевых отходов с получением альтернативного источника топлива – биогаза, основными веществами которого являются метан (60–70%) и углекислый газ (30–40%). В качестве инициаторов для интенсификации процесса получения биогаза из ТБО используют пищевые отходы, что способствует утилизации отходов пищевых производств. Соотношение количества пищевых отходов и ТБО влияет на максимальный выход биогаза.

Основными условиями процесса сбраживания метановыми анаэробными бактериями является рН среды, состав отходов, доведение массы до однородного состояния, поддержание постоянной температуры (40–70 градусов Цельсия) и регулярное перемешивание биомассы с помощью различных средств, в том числе жидкостных либо ультразвуковых кавитаторов [8]. Чем мельче частицы органической смеси, тем быстрее идет процесс брожения. Использование ферментов приводит к увеличению выхода биогаза и ускорению процесса переработки биомассы. Из одного килограмма сухого сырья на современной биогазовой установке можно получить 350–500 литров биогаза.

В европейских странах традиционными способами сжигания ТБО и получением биогаза является использование комбинированных источников энергоснабжения. Например, использование совмещённых компоновок ТЭС для сжигания природного топлива и ТБО.

Опыт показывает, что современная ТЭС, работающая на биогазе, полученном из ТБО, является экологически безопасным предприятием. Концентрация регламентируемых веществ в газообразных продуктах сгорания ТБО не превышает принятых в ЕС нормативных значений. Несмотря на то, что Россия по-прежнему считает себя одной из ведущих стран в области развития электроэнергетики, в настоящее время в РФ в эксплуатации находятся только три ТЭС на ТБО общей установленной электрической мощностью всего 26,6 МВт, а в США суммарная мощность ТЭС на ТБО составляет 2,7 ГВт) [9].

Тепловая электростанция, работающая на ТБО, является одной из самых доступных и наиболее экономически целесообразных возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Принятие законодательных документов, направленных на существенное сокраще-

ние полигонного захоронения, способствует развитию использования в РФ твердых бытовых отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов, по крайней мере для крупных городов, и повышению заинтересованности энергетических компаний в развитии производства альтернативных источников энергии.

Поскольку технологии в настоящее время стремительно шагнули вперед, сырьем для получения биогаза могут стать самые различные отходы органического происхождения [10]. Показатели выхода биогаза из различных видов органического сырья приведены в таблице.

В настоящее время к самым перспективным проектам относят когенерационные электростанции, работающие на базе микротурбинного оборудования [10]. Повышенный интерес к подобному рода установкам вызван их уникальными техническими свойствами, одним из которых является их возможность работать без газоподготовки на разнообразных видах топлива. Микротурбинное оборудование, функционирующее в когенерационном режиме, позволяет

Выход биогаза из органического сырья

| Категория сырья                                 | Выход биогаза (м <sup>3</sup> ) из 1 т базового сырья |
|---|---|
| Коровий навоз                                   | 39–51   |
| Навоз КРС, перемешанный с соломой; овечий навоз | 70  |
| Свиной навоз                                    | 51–87   |
| Птичий помет                                    | 46–93   |
| Жировая ткань                                   | 1290  |
| Отходы с мясобоини                              | 240–510   |
| ТБО   | 180–200   |
| Фекалии и сточные воды                          | 70  |
| Послеспиртовая барда                            | 45–95   |
| Биологические отходы производства сахара        | 115   |
| Силос   | 210–410   |
| Картофельная ботва                              | 280–490   |
| Свекольный жом                                  | 29–41   |
| Свекольная ботва                                | 75–200  |
| Овощные отходы                                  | 330–500   |
| Зерно   | 390–490   |
| Трава   | 290–490   |
| Глицерин  | 390–595   |
| Пивная дробина                                  | 39–59   |
| Отходы, полученные в процессе уборки ржи        | 165   |
| Лен и конопля                                   | 360   |
| Рыбные отходы; овсяная солома                   | 300   |
| Клевер  | 430–490   |
| Молочная сыворотка                              | 50  |
| Кукурузный силос                                | 250   |
| Мука, хлеб                                      | 539   |

повысить на 20% эффективность использования топлива и вдвое снизить эксплуатационные затраты по сравнению с газопоршневыми устройствами.

Перспективной и экономически выгодной разработкой следует считать получение электричества из биологического газа с использованием топливных элементов. В данном оборудовании происходит прямое преобразование биогаза в электроэнергию, не требующее его сжигания. Помимо более высокой экологической чистоты процесса достигается более высокий его КПД. Топливные элементы в данном технологическом процессе представляют собой простые ячейки (своеобразные аккумуляторы), в которых идут химические реакции окислителя с горючими веществами. Вследствие этих реакций вырабатывается электричество. Однако до конца задача эффективного использования биогаза в топливных элементах пока не разрешена. Это связано с тем, что мембраны подвержены разрушению ввиду воздействия содержащихся в биологическом газе веществ.

В связи с ежегодным ростом тарифов на электроэнергию и увеличивающимися экологическими платежами биогазовые проекты показывают высокую рентабельность и быструю окупаемость. Развитие технологии получения электроэнергии из биогаза непосредственно связано с улучшением экологической обстановки в стране. Поэтому российские ученые уделяют большое внимание развитию данного направления. Реализация комплекса мероприятий, связанных с ужесточением контроля над выбросами и утилизацией отходов, способствует увеличению объемов выработки электроэнергии из биологического газа.

Развитие индустрии биотехнологической переработки сельскохозяйственных отходов позволяет решать такие проблемы, как обеззараживание отходов животноводства и растениеводства, получение высококачественных удобрений, производство топливного биогаза, биометана и электроэнергии, обеспечение занятости населения при производстве, строительстве и эксплуатации биоустановок и биоэнергетических комплексов.

#### Список литературы

1. Варфоломеев С.Д., Ефременко Е.Н., Крылова Л.П. Био-топлива // Успехи химии. – 2010. – т. 79. – № 6. – С. 544–564.
2. Майстренко А.Ю., Курис Ю.В., Власенко В.Н. Эффективность способов повышения получения биоэнергетического топлива // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2010. – № 4(74). – С. 48–55.
3. Салова Т.Ю., Громова Е.А. Способ получения возобновляемых энергетических ресурсов // Современные материалы, техника и технология: материалы 4-й Международной научно-практической конференции. – 2014.

4. Кошелев В.М., Нургалiev Т.И. Экономические аспекты внедрения технологии производства биогаза в сельскохозяйственной организации // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – 2015. – № 6 (70). – С. 50–55.

5. Перспективы создания биоэнергетической индустрии переработки сельскохозяйственных отходов: [Электронный ресурс] // Национальная ассоциация энергетиков России. – URL: <http://nacp.ru/novosti-energetiki/alternativnaya-energetika/perspektivy-sozdaniya-bioenergeticheskoy-industrii-pererabotki-selskoxozyajstvennyx-otxodov.html>. (Дата обращения: 04.07.2016).

6. Довженко М.Ю. Оценка масштабов образования твердых бытовых отходов и их энергетического потенциала: [Электронный ресурс] // STUDYDOC. – URL: <http://studydoc.ru/doc/2020959/ocenka-masshtabov-obrazovaniya-tverdyh-bytovyh-othodov-i-ih>. (Дата обращения: 27.06.2016).

7. Шаимова А.М. Утилизация отходов пищевых производств на полигонах твердых бытовых отходов // Санитарный врач. – 2012. – № 5. – С. 040.

8. Федотов Р., Кудряшов Н. Переработка твердых бытовых отходов и получение биогазов на мусоросжигающих заводах // VII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» – 2015.

9. Тугов А.Н. Перспективы энергетической утилизации ТБО: [Электронный ресурс] // Энергосовет. – 2014. – № 4(35). – URL: <http://forum.abok.ru/index.php?act=Attach&type=post&id=89927>. (Дата обращения: 05.07.2016).

10. Электроэнергия из биогаза и применение биогазовой технологии: [Электронный ресурс] // Биокомплекс. – URL: <http://biogaz-russia.ru/ehlektroehnergiya-iz-biogaza>. (Дата обращения: 05.07.2016).

#### References

1. Varfolomeev S.D., Efremenko E.N., Krylova L.P. Biotopлива // Uspehi himii. 2010. t. 79. no. 6. pp. 544–564.
2. Majstrenko A.Ju., Kuris Ju.V., Vlasenko V.N. Jefferktivnost sposobov povyshenija poluchenija bioenergeticheskogo topliva // Jenergosberezenie. Jenergetika. Jenergoaudit. 2010. no. 4(74). pp. 48–55.
3. Salova T.Ju., Gromova E.A. Sposob poluchenija vozobnovljaemyh jenergeticheskix resursov // Sovremennye materialy, tehnika i tehnologija: materialy 4-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2014.
4. Koshelev V.M., Nurgaliev T.I. Jekonomicheskie aspekty vnedrenija tehnologii proizvodstva biogaza v selskoxozyajstvennoj organizacii // Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Gorjachkina. 2015. no. 6 (70). pp. 50–55.
5. Perspektivy sozdaniya bioenergeticheskoy industrii pererabotki selskoxozyajstvennyh othodov: [Jelektronnyj resurs] // Nacionalnaja asociacija jenergetikov Rossii. URL: <http://nacp.ru/novosti-energetiki/alternativnaya-energetika/perspektivy-sozdaniya-bioenergeticheskoy-industrii-pererabotki-selskoxozyajstvennyx-otxodov.html>. (Data obrashhenija: 04.07.2016).
6. Dovzhenko M.Ju. Ocenka masshtabov obrazovaniya tverdyh bytovyh othodov i ih jenergeticheskogo potentsiala: [Jelektronnyj resurs] // STUDYDOC. URL: <http://studydoc.ru/doc/2020959/ocenka-masshtabov-obrazovaniya-tverdyh-bytovyh-othodov-i-ih>. (Data obrashhenija: 27.06.2016).
7. Shaimova A.M. Utilizacija othodov pishhevyyh proizvodstv na poligonah tverdyh bytovyh othodov // Sanitarnyj vrach. 2012. no. 5. pp. 040.
8. Fedotov R., Kudrjashov N. Pererabotka tverdyh bytovyh othodov i poluchenie biogazov na musoroszhigajushhih zavodah // VII Mezhdunarodnaja studencheskaja jelektronnaja nauchnaja konferencija «Studencheskij nauchnyj forum» 2015.
9. Tugov A.N. Perspektivy jenergeticheskoy utilizacii TBO: [Jelektronnyj resurs] // Jenergosovet. 2014. no. 4(35). URL: <http://forum.abok.ru/index.php?act=Attach&type=post&id=89927>. (Data obrashhenija: 05.07.2016).
10. Jelektroenergija iz biogaza i primenenie biogazovoj tehnologii: [Jelektronnyj resurs] // Biokompleks. URL: <http://biogaz-russia.ru/ehlektroehnergiya-iz-biogaza>. (Data obrashhenija: 05.07.2016).