

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Ю. В. КЛЯУСОВА, А. А. ЦЫГАНОВА, Г. В. БЕЛЬСКАЯ

*УО «Белорусский национальный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220013,  
e-mail: yuliya-klaus@mail.ru; anna-1981-81@mail.ru; gbelskaja@mail.ru*

*(Поступила в редакцию 17.08.2023)*

*Республика Беларусь имеет высокий потенциал для развития биогазовой энергетики. Главным фактором, сдерживающим развитие биогазовых технологий, является высокая стоимость применяемого оборудования, что приводит к высоким затратам на единицу производимой электроэнергии. Основными направлениями снижения себестоимости является эксплуатация отечественных биогазовых установок, строгое соблюдение регламента микробиологического процесса, с гарантированным получением биогаза и биогазуса необходимого качества. Использовать биогаз можно для производства электрической и тепловой энергии, в качестве автомобильного топлива для транспорта, в первую очередь, общественного. Биогаз можно использовать для газификации сельских населенных пунктов республики. Биогазовые технологии обеспечивают значительные экологические преимущества по улучшению качества окружающей среды, поскольку предполагают получение энергии из любых органических субстратов, включая отходы первичной и вторичной биомассы. В настоящее время основным сырьем для производства биогаза в нашей республике являются органические отходы животноводства. Следует отметить неоспоримые экологические преимущества биогазовых технологий в вопросах обращения с органическими отходами, в первую очередь, сокращения объемов их образования.*

*Все стадии производства биогаза должны быть оптимизированы в один технологический процесс и иметь соответствующее оборудование. Каждая технологическая зона, начиная с получения сырья и заканчивая размещением органического осадка и доработкой его в биогазус, могут быть критическими точками в функционировании биогазовых комплексов.*

**Ключевые слова:** *биогазовые технологии, экономические и экологические преимущества, производство энергии, обращение с органическими отходами, биогазус.*

*The Republic of Belarus has high potential for the development of biogas energy. The main factor hindering the development of biogas technologies is the high cost of the equipment used, which leads to high costs per unit of electricity produced. The main directions for reducing costs are the operation of domestic biogas plants, strict adherence to the regulations of the microbiological process, with the guaranteed production of biogas and vermicompost of the required quality. Biogas can be used to produce electrical and thermal energy, as a vehicle fuel for transport, primarily public transport. Biogas can be used for gasification of rural settlements of the republic. Biogas technologies provide significant environmental benefits in improving the quality of the environment, since they involve the production of energy from any organic substrate, including primary and secondary biomass waste. Currently, the main raw material for biogas production in our republic is organic livestock waste. One should note the undeniable environmental advantages of biogas technologies in the management of organic waste, primarily in reducing the volume of its formation.*

*All stages of biogas production must be optimized into one technological process and have the appropriate equipment. Each technological zone, starting from the receipt of raw materials and ending with the placement of organic sludge and its processing into vermicompost, can be a critical point in the functioning of biogas complexes.*

**Key words:** *biogas technologies, economic and environmental benefits, energy production, organic waste management, vermicompost.*

### **Введение**

Республика Беларусь продолжает работу по имплементации целей устойчивого развития на национальном уровне, что включает формирование целостной стратегии устойчивого развития на основе принципа национальной ответственности. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года (НСУР-30) определяет ориентиры развития и широкого использования инновационных технологий [1]. В соответствии с Повесткой-2030, основной целью развития топливно-энергетического комплекса является повышение энергетической самостоятельности за счет вовлечения в энергобаланс ядерного топлива и возобновляемых источников энергии. Одним из основных направлений развития возобновляемой энергетики Республики Беларусь отмечено использование биогаза путем создания биогазовых комплексов на животноводческих фермах, предприятиях пищевой промышленности, полигонах коммунальных отходов в крупных городах, а также его эффективное технологическое применение [2]. Использовать биогаз планируется для производства электрической и тепловой энергии, а также в качестве автомобильного топлива для различных видов транспорта. С целью повышения экономической эффективности биогазовой энергетики, планируется организация производства и эксплуатация отечественных биогазовых установок.

Целью работы является определение основных перспектив развития биогазовой энергетики, с учетом некоторых технических и технологических особенностей. Главным фактором, сдерживающим

развитие биогазовых технологий, является высокая стоимость применяемого оборудования, что приводит к высоким затратам на единицу производимой электроэнергии.

#### Основная часть

Республика Беларусь имеет высокий потенциал для развития возобновляемой энергетики. На первом месте среди возобновляемых видов энергии следует отметить солнечную энергию, ресурсный потенциал которой составляет 71 млн. т.у.т. в год, причем вклад этого энергоресурса будет расти. На втором месте отмечен ресурсный потенциал биогаза, который составляет 3,265 млн. т.у.т. в год (табл. 1). По сравнению с энергией солнца и ветра, биогаз имеет неоспоримые технологические преимущества, в частности, это то, что его можно последовательно производить и поэтапно накапливать, без существенных потерь [3].

Таблица 1. Ресурсный потенциал возобновляемых видов энергии в Республике Беларусь

Вид энергоресурсов	Ресурсный потенциал, млн. т.у.т. в год
Древесное топливо и отходы деревообработки	3,1
Гидроресурсы	0,636
Ветропотенциал	0,672
Отходы растениеводства	1,460
Солнечная энергия	71,0
Биогаз	3,265
Лигнин	0,983
Коммунальные отходы	0,470
Нефтяной кокс	0,554

Примечательно, что ресурсный потенциал биогаза рассчитан только для объемов его производства из органических отходов животноводства, с учетом поголовья скота. Энергетический потенциал биогаза выше, чем потенциал древесного топлива, отходов деревообработки, и отходов растениеводства (3,1 млн. т.у.т. и 1,46 млн. т.у.т. в год). Биогаз (в виде свалочного газа) в нашей республике получают также из органических коммунальных отходов с использованием специального оборудования – газопоршневых агрегатов. Нами рассчитано, что переработка коммунальных отходов на свалочный газ может заместить объем энергии только до 0,47 млн. т.у.т. в год, или приблизительно в 5 раз меньше, чем потенциал энергии, возможный для получения биогаза из отходов животноводства. Это свидетельствует о высокой технологической ценности этого вида субстрата.

По данным Департамента по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь и ГПО «Белэнерго», в соответствии с Госпрограммой на 2021 г., целевой показатель потребления местных топливно-энергетических ресурсов ТЭР (без учета атомной энергии) в валовом потреблении был выполнен и составил 16,1 %; в том числе целевой показатель по доле возобновляемых источников энергии ВИЭ в валовом потреблении ТЭР составил 7,4 %. На фоне успешного выполнения целевых показателей развития нетрадиционных видов энергии отмечено, что установленная мощность (МВт) биогазовых комплексов в 2021 г. в стране возросла на 13 % и в настоящее время составляет 34,3 МВт, а выработка электроэнергии из биогаза возросла на 173 % [4].

Согласно данным Реестра выданных сертификатов о подтверждении происхождения энергии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [5, 6]. По состоянию на 01.11.2021 г. на территории страны функционирует 29 биогазовых установок, общей установленной мощностью 38,127 МВт. Из этого количества 14 установок работают на отходах животноводческих комплексов, их установленная мощность составляет 18,772 МВт. Соответственно, 15 биогазовых установок работают на органических отходах жилищно-коммунального хозяйства ЖКХ. Они расположены на полигонах ТКО вблизи крупных и средних городов. Эти установки (с использованием газопоршневых агрегатов) производят так называемый свалочный газ. Их общая установленная мощность составляет 19,355 МВт.

Успешное развитие биогазовых технологий имеет сдерживающие факторы – экономические, технологические, организационные. Основным экономическим фактором является высокая стоимость применяемого оборудования. Это приводит к высоким удельным капитальным затратам на производство биогаза и единицу производимой электроэнергии. Основным направлением снижения себестоимости является эксплуатация отечественных биогазовых установок, их грамотная комплектация и техническое обслуживание. Эти технические условия должны обеспечивать четкое выполнение технологического регламента микробиологического процесса, с гарантированным получением конечных продуктов.

Важным условием повышения эффективности является обоснованная структура биогазовых комплексов, зависящая, в первую очередь, от устойчивого наличия органического сырья, которое должно поступать в биореактор без перерывов. Структура биогазового завода включает в себя следующие зоны: управление субстратами, состав сырья, его предобработка и загрузка в реактор, процесс анаэробного сбраживания, хранение, доработка (очистка от примесей) и использование биогаза, хранение и доработка органического осадка. Все перечисленные зоны биогазовых комплексов должны быть оптимизированы в один технологический процесс, иметь необходимое оборудование [7].

Управление субстратами включает технологические процессы доставки, получения, складирования, хранения и транспортировки к реактору. Необходимым условием являются устойчивые логистические схемы, разработанные для каждого биогазового комплекса, развитая дорожная сеть, удобные подъездные пути, наличие складских помещений и другие факторы логистики. Необходимо создание стратегических резервов сырья для обеспечения непрерывности подачи органических субстратов в реактор.

Стадии технологического процесса (сбраживания) хорошо изучены, в т. ч. состав исходных материалов, их предобработка, нормы загрузки в биореактор, скорость подачи, время протекания брожения, внешние и внутренние условия, способы улучшения (доработки) биогаза и другие положения. Все органические субстраты можно (хотя бы частично) разложить как аэробным, так и анаэробным способом [8]. Твердые, со сложной структурой материалы, такие как древесина и солома (т.е. лигноцеллюлозный материал), лучше подходят для аэробных условий разложения, то есть компостирования. В то же время, текучие, жидкие материалы – навоз, отходы продуктов питания, осадки сточных вод лучше разлагаются в анаэробных условиях, то есть в процессе брожения. При этом влажность сырья является решающим фактором, каким методом (брожение или компостирование) их лучше всего перерабатывать.

При оценке субстратов следует учитывать, что только из сухой массы и ее органической части можно произвести метан. Поэтому содержание органической сухой массы является главным критерием ценности имеющихся субстратов. Содержание воды в разных видах субстратов может существенно варьировать – от 5 % в сухой зеленой массе до 90 % и выше для навоза с.-х. животных и свежескошенной барды. Основные показатели содержания влаги в разных видах субстратов приведены в (табл. 2).

Таблица 2. Содержание воды в разных видах субстратов

Содержание воды, %	
Барда	90–94
Сухой фураж, зерновые	12–15
Зеленый корм, корни, клубни	75–85
Промышленный корм	10–15
Силос	80
Сухая зеленая масса	5–12
Сенаж	60–70
Навоз с.-х. животных (в зависимости от условий содержания)	60–90
Куриный помет	20–30

Содержание влаги в субстратах является критической точкой для обеспечения стабильного выхода метана. Для жидкого (мокрого) метода лучше, чтобы содержание сухого вещества было 5–15 %. Если содержание сухого вещества меньше 5 %, то возникает необходимость «бесполезного» добавления большого количества воды, что существенно снижает рентабельность технологических процессов и качество органического осадка. С другой стороны, содержание 15 % сухого вещества является верхней границей (лимитирующим фактором), при которой субстрат еще можно перекачивать насосом, перемешивать либо смешивать [9]. Сухой метод (без добавления воды) рассчитан на сыпучие материалы с содержанием сухого вещества свыше 25 %. Содержание сухого вещества в субстрате от 40 до 60 % делает его пригодным только к компостированию.

Важнейшая характеристика субстратов – это химический состав. Органическое вещество состоит из протеинов, жиров, а также легко и тяжело разлагаемых углеводов. Фракцию тяжело разлагаемых углеводов и сырых волокон составляют гетеро-полисахариды - гемицеллюлоза, пектины, лигнин. Важным показателем, определяющим пригодность субстрата к брожению, является соотношение в нем биогенных элементов. Важными биогенными элементами являются углерод (С) – в основном, содержащийся в соломе, пожнивных остатках, навозе, а также азот (N), фосфор (P) и сера (S) – содержащиеся

в зеленая биомассе. Их оптимальное соотношение должно составлять 600:20:5:3, что обеспечивает эффективный стабильный выход биогаза и формирование качественного органического осадка.

В настоящее время в мировой практике используют четыре базовых субстрата для приготовления сырья:

- первичная биомасса – это смесь из зеленой измельченной массы сельскохозяйственных и энергетических культур (кукуруза, зерновые, энергетические культуры типа силфий, а также быстрорастущих видов водорослей). Эти культуры специально выращивают в хозяйствах, соблюдая структуру посевных площадей. В эту категорию сырья следует отнести пожнивные остатки;

- вторичная биомасса – это органические отходы животноводства (навоз с.-х. животных), пищевые отходы от пунктов общественного питания, отходы пищевой промышленности;

- био-разлагаемые коммунальные отходы – это свалочные отходы на полигонах ТКО, содержащие органическую фракцию – для получения свалочного газа при помощи специальных газо-поршневых установок;

- осадки коммунальных сточных вод.

Обычная практика биогазовых технологий предполагает смешивание нескольких компонентов, разработку специальной рецептуры. Отдельно перечисленные выше компоненты не подвергаются процессам сбраживания, поскольку процессы идут нестабильно: либо чрезвычайно быстро, либо медленно, с затуханием.

В Республике Беларусь сложились специфические условия по формированию сырьевой базы для использования ее в биогазовых технологиях. Основными видами сырья для получения биогаза в настоящее время являются: органические отходы животноводства – в основном, это навоз сельскохозяйственных животных (вторичная биомасса), с добавлением других компонентов и твердые бытовые отходы – это свалочные отходы, содержащие органическую фракцию – для получения свалочного газа при помощи специальных установок. В настоящее время в республике функционирует около 100 крупных ферм по откорму крупного рогатого скота, 120 крупных свинокомплексов и около 60 птицеводческих хозяйств, которые производят до 300 тысяч тонн жидких органических отходов в сутки [10], или в пересчете 30 млн. м<sup>3</sup> сточных вод в год. Биогазовый потенциал органических отходов животноводства составляет 4 млрд. м<sup>3</sup> биогаза в год, что соответствует 800 МВт электрической мощности. Использование этого ресурса позволило бы обеспечить экономию 3,87 млн т. у. т. в год [11].

Согласно исследованиям РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», энергетический потенциал использования биогазовых установок позволит получать более 2,5 млрд м<sup>3</sup> биогаза ежегодно. На его основе возможна выработка 5 млрд. кВт·ч электрической энергии и более 8,5 млн Гкал тепловой энергии. Для реализации такого потенциала суммарная установленная мощность биогазовых установок должна составлять около 625 МВт, что позволило бы экономить 2,9 млн т.у.т. в год [12]. Можно сказать, что органические отходы животноводства являются в настоящее время основным подходящим сырьем для гарантированного производства биогаза в нашей стране. Кроме энергетических преимуществ, биогазовые технологии обеспечивают значительные экологические преимущества по улучшению качества окружающей среды.

### **Заключение**

Одним из перспективных направлений развития возобновляемой энергетики в Республике Беларусь является функционирование биогазовых комплексов на животноводческих фермах и полигонах коммунальных отходов. В 2021 г. целевой показатель потребления местных топливно-энергетических ресурсов ТЭР в валовом потреблении был выполнен и составил 16,1 %; в том числе целевой показатель по доле возобновляемых источников энергии ВИЭ в валовом потреблении ТЭР составил 7,4 %, соответственно установленная мощность (МВт) биогазовых комплексов возросла на 13 % и в настоящее время составляет 34,3 МВт, а выработка электроэнергии из биогаза возросла на 173 %.

Успешное развитие биогазовых технологий имеет существенные сдерживающие факторы – экономические, технологические, организационные. Главным экономическим фактором является высокая стоимость применяемого оборудования и его техническое обслуживание. В настоящее время это приводит к высоким удельным капитальным затратам на производство биогаза и единицу производимой электроэнергии. Основным стратегическим направлением снижения себестоимости является эксплуатация отечественных биогазовых установок, их грамотная комплектация и техническое обслуживание.

Одним из необходимых условий повышения эффективности функционирования биогазовых комплексов является непрерывное поступление органического сырья. Среди важных условий выделены управление субстратами, состав исходного сырья, его предобработка, оптимизация процессов анаэробного сбраживания, хранение, доработка (очистка от примесей), использование биогаза, хранение и

доработка органического осадка. Каждая технологическая зона, начиная с получения сырья и заканчивая размещением органического осадка и доработкой его в биогаз, могут быть критическими точками в функционировании биогазовых комплексов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период 2030 года / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь; редкол.: Л. М. Александрович [и др.]. – Минск: Юнипак, 2017. – 149 с.
2. Национальный доклад Республики Беларусь об осуществлении повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года / Совет Республики Национального собрания Республики Беларусь – Минск: 2017. – 40 с.
3. Капитанова, Т. А. Использование биогазовых установок при производстве энергии / Т. А. Капитанова, П. В. Зубик // 4-я международная научно-практическая конференция молодых ученых и студентов Опыт прошлого взгляд в будущее: сб. тр. / ТулГУ; редкол.: О. И. Борискин (старш.) [и др.]. – Тула, 2014. – С. 490–494.
4. Бельская, Г. В. Оценка эффективности использования биогазовых технологий при производстве энергии в Республике Беларусь / Г. В. Бельская, Е. В. Зеленуха, П. В. Зубик // Наука – образованию, производству, экономике: тез. докл. / Сб. БНТУ; ред.: С. В. Игнатов [и др.]. – Минск, 2014. – С. 482–483.
5. Реестр выданных сертификатов о подтверждении происхождения энергии на 01.10.2014 г.: утв. М-вом природы Респ. Беларусь по состоянию на 01.11.2021 г. – Минск: Государственный кадастр возобновляемых источников энергии Минприроды Республики Беларусь. – 2021.
6. Эдер, Б. Биогазовые установки / Б. Эдер, Х. Шульц. – Мюнхен: Zorg Biogas, 2011 – 181 с. (Серия «Практическое пособие»).
7. Величко, В. В. Проблемы использования биогазовых технологий / В. В. Величко, С. П. Кундас // Сахаровские чтения 2015 года : экологические проблемы XXI века : материалы 16-й междунар. науч. конф., Минск, 19-20 мая 2016 г. / МГЭУ им. А. Д. Сахарова; редкол.: С. А. Маскевича, (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 266.
8. Чабатуль, В. В. К вопросу развития биогазовой энергетики в аграрной отрасли Беларуси / В. В. Чабатуль, А. Ю. Андрищенко, А. Н. Русакович // Аграрная экономика. – 2021. – № 1. – С. 329–343.
9. Сайганов, А. С. Инновационное развитие АПК / А. С. Сайганов, В. В. Чабатуль // 25 лет созидания и свершений, Минск, 2020 г. : в 7 т. / Агропромышленный комплекс. Архитектура и градостроительство. Беларусь на мировой арене; редкол.: В. П. Андрейченко. – Минск, 2020. – Т. 4. – С. 133–144.
10. Бельская Г. В. Перспективы использования органических отходов животноводческих ферм для производства биогаза в Республике Беларусь / Г. В. Бельская // Наука – образованию, производству, экономике: тез. докл.; ред.: С. В. Игнатов [и др.]. – Минск, 2014. – С. 317–321.
11. Кундас С. П. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии: практика и перспективы использования / С. П. Кундас, В. А. Пашинский, А. С. Пилипчук // Энергоэффективность. – 2013. – № 10. – С. 32–34.
12. Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов = Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Парадак разліку эканамічнай эфектыўнасці біягазавых комплексаў: ТКП 17.02-05-2011 (02120). – Введ. 05.09.2011. – Минск: Минприроды, 2011. – 26 с.