

## ПРИМЕНЕНИЕ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИМИ ОТХОДАМИ

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

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 02.07.2024)

*Максимальный интегральный эффект от применения биогазовых технологий можно получить при одновременном выполнении экономического, энергетического и экологического императивов устойчивого развития. Биогаз с высокой эффективностью может быть использован для получения тепловой и электрической энергии для локальных целей, поскольку биогазовые комплексы размещены в разных регионах страны и не требуют строительства дорогостоящих газопроводов и другой инфраструктуры. Важным обстоятельством является то, что производство биогаза сопровождается снижением объемов образования и складирования органических отходов, представляющих серьезную угрозу окружающей среде. Эффективное их использование для производства дополнительного продукта – биогумуса – снижает себестоимость получаемого биогаза, повышает урожайность с.-х. культур, снижает нагрузку на окружающую среду.*

*В Республике Беларусь сложились специфические условия по формированию сырьевой базы для использования ее в биогазовых технологиях. Основными видами сырья в настоящее время являются органические отходы животноводства – навоз с.-х. животных, с добавлением других компонентов, также отходы жилищно-коммунального хозяйства, содержащие органическую фракцию. Помимо энергетической функции, современные технологии метаногенеза позволяют эффективно управлять органическими отходами, снижать объемы их образования и складирования, улучшать качество окружающей среды.*

**Ключевые слова:** биогазовые технологии, управление органическими отходами, снижение объемов образования, производство биогумуса.

*The maximum integrated effect from the use of biogas technologies can be obtained by simultaneously fulfilling the economic, energy and environmental imperatives of sustainable development. Biogas can be used with high efficiency to generate heat and electricity for local purposes, since biogas complexes are located in different regions of the country and do not require the construction of expensive gas pipelines and other infrastructure. An important circumstance is that biogas production is accompanied by a decrease in the volume of formation and storage of organic waste, which poses a serious threat to the environment. Its effective use for the production of an additional product – vermicompost – reduces the cost of the resulting biogas, increases the yield of agricultural crops, and reduces the burden on the environment. In the Republic of Belarus, specific conditions have developed for the formation of a raw material base for its use in biogas technologies. The main types of raw materials are currently organic waste from livestock – manure of agricultural animals, with the addition of other components, as well as waste from housing and communal services containing an organic fraction. In addition to the energy function, modern methanogenesis technologies allow for the effective management of organic waste, reducing the volume of its formation and storage, and improving the quality of the environment.*

**Key words:** biogas technologies, organic waste management, reduction of formation volumes, biohumus production.

### Введение

В условиях изменяющегося спроса на энергоресурсы и постоянного колебания тарифов на них, а также лимитов запасов нефти, угля и газа, особое значение приобретают вопросы поиска и использования возобновляемых источников энергии. Переработка сельскохозяйственных отходов на биогазовых установках может обеспечить хозяйство биогазом, который используют в любых бытовых газовых приборах, и высокоэффективными органическими биоудобрениями, применение которых увеличивает продуктивность почвы на 10–30 % [1]. Примечательным является тот факт, что в европейских странах разработка и внедрение биогазовых технологий были связаны, в первую очередь, с желанием сократить объемы шламов, отправляемых на захоронение или складирование. Например, в Швеции биогаз начали производить с 60-х годов XX столетия из осадков, образуемых на муниципальных очистных сооружениях в крупных городах. Энергетическая составляющая играла исключительно дополнительную роль. В развивающихся странах (Эфиопия, Судан, Бангладеш) 90–95 % энергетики зависит от переработки биомассы; в США – 3–4 %; Швеции – 10 %; Финляндии – 17 %. В текущем столетии, по прогнозам специалистов, 25% энергии будет получено из биомассы отходов. Сейчас этот процент не превышает 4 %. Биоэнергетика – это экологически чистое будущее. Термин биомасса распространяется на все виды веществ растительного и животного происхождения, продукты жизнедеятельности человека и животных [2].

### Основная часть

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). В настоящее время в республике функционирует около 100 крупных ферм по откорму крупного рогатого скота, 120 крупных свиноподкомплексов и около 60 птицеводческих хозяйств, которые производят до 300 тысяч тонн жидких органических отходов в сутки [3]. 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 тонн условных тонн в год [4]. 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.

Переход животноводства на индустриальную основу и связанная с этим процессом концентрация животных на крупных фермах и комплексах обусловили резкое увеличение количества навоза и навозных стоков, которые должны утилизироваться, не загрязняя внешнюю среду. Скопление органических отходов вблизи крупных животноводческих комплексов представляет серьезную угрозу природной среде. Попадая в естественные водоемы, навозная жижа вызывает автрофикацию и массовые отравления водных организмов. В воде резко возрастает содержание аммиака и снижается количество кислорода. Поэтому отходы животноводства должны быть своевременно утилизированы.

Сельскохозяйственные животные недостаточно полно усваивают энергию растительных кормов. Более половины солнечной энергии, аккумулированной фотосинтезом в кормах, используется непроизводительно – уходит в навоз. В мире разрабатываются способы переработки навоза и осадка сточных вод, позволяющие получать из них кормовые добавки. Из 1 кг органических веществ, содержащихся в сточных водах, можно получить 0,35 кг белкового концентрата. Кроме того, навоз содержит значительное количество энергии. Содержащаяся в растительных кормах энергия используется животными с низким коэффициентом усвоения. Так, в организме коровы в результате сложных биохимических процессов растительные корма трансформируются в органические вещества тела животного, молоко и т. п. Около 26 % энергии корма расходуется на переваривание и усвоение, а оставшаяся большая часть энергии (58 %) уходит в навоз.

Поэтому навоз является не только ценным сырьем для производства органических удобрений, но и существенным источником получения возобновляемой энергии. При применении биогазовых технологий осуществляется санитарная обработка сточных вод (особенно животноводческих и коммунально-бытовых); анаэробная переработка отходов животноводства и растениеводства позволяет получать уже готовые к использованию биоудобрения с высоким содержанием азотной и фосфорной составляющей. Утрата большого количества содержащихся в навозе азота, фосфора, калия и других ценных компонентов происходит и в результате хранения навоза. Органические отходы являются благоприятной средой для развития болезнетворных микроорганизмов и их разносчиков, а также гельминтов. Вопрос о защите окружающей среды в зонах скопления таких отходов стоит особенно остро [5].

Концепция перехода к устойчивому развитию в значительной степени зависит от устойчивости развития энергетики – системообразующей отрасли хозяйства – в соответствии с экологическими и экономическими требованиями. Многогранный эффект биоэнергетических технологий включает в себя энергетический, экологический и экономический компоненты (рис. 1) [6].



Р и с.1. Составляющие положительного эффекта биогазовых технологий

Одним из важных преимуществ использования органического осадка является его биоконверсия в продукты с добавленной стоимостью и биоэнергетику, которая может быть предложена в рамках концепции биопереработки. Эта концепция, присущая экономике замкнутого цикла, может быть описана как промышленное устройство, которое является восстановительным и регенерирующим. Кроме того, экономика замкнутого цикла лежит в основе подходов «зеленой химии» и «зеленой инженерии» и согласуется с ними, фактически фокусируясь на возобновляемых процессах и продуктах для укрепления здоровья человека и защиты окружающей среды. Внедрение биогазовых технологий для получения биоэнергии из различных органических отходов может стать возможным подходом к переходу от стандартной линейной экономики к циклической. Экономика замкнутого цикла играет важную роль во внедрении материалов в производственную цепочку и является благоприятным способом достижения экономического роста. Извлечение биоэнергии из отходов позволяет уменьшить воздействие на окружающую среду, вызванное в первую очередь недостаточно эффективным хранением отходов, а также избежать эвтрофикации воды и замедлить глобальное потепление климата.

При внедрении биогазовых комплексов в сферу экономики замкнутого цикла (рис. 2) органические отходы, могут быть направлены на переработку в системы анаэробного сбраживания. Производимый биогаз может быть преобразован в электрическую и тепловую энергию, которые могут использоваться непосредственно промышленными предприятиями, и, таким образом, достигается замена использования ископаемого топлива [6, 7].

В целом, экологические преимущества производства биогаза и биогумуса имеют как глобальный, так и локальный характер. К глобальным преимуществам можно отнести: сокращение потребления ископаемых видов топлива и тем самым продление срока их исчерпания; получение практически неиссякаемого источника энергии, так как биомасса (в виде органических отходов) постоянно возобновляется; сокращение эмиссий парниковых газов в атмосферу.



Р и с. 2. Концепция экономики замкнутого цикла с внедрением анаэробного сбраживания

Метаногенез, как процесс биосинтеза метана, играет важную роль в круговороте углерода в природе. Вовлекая сознательно в этот процесс органические отходы и используя затем получаемые биогаз и биогумус, снижается нагрузка на окружающую среду как за счет ускорения разложения отходов и уменьшения их количества и объема, так и за счет снижения выбросов более сильного, чем двуокись углерода, парникового газа – метана. Кроме того, использование навоза для производства биотоплива уменьшает выбросы углекислого газа, во-первых, из-за того, что большое количество углерода переходит в метан, и во-вторых, благодаря замене ископаемых видов топлива. Использование биогаза как топлива по сравнению с использованием природного газа экологически более предпочтительно из-за меньшего содержания в продуктах сгорания соединений серы, азота, углекислого газа, золы. Продукты энергетических процессов, связанных с использованием традиционных видов топлива, составляют 80...88 % всех видов загрязнения биосферы. При перевозках переход транспортных средств с бензина и дизельного топлива на биогаз из навоза, снижает выбросы CO<sub>2</sub> на 180 % на автомобиль [8] и дает экологический эффект от сокращения выбросов других загрязняющих веществ.

Экономические факторы оказывают как стимулирующее, так и сдерживающее воздействие на возможность применения биогазовых технологий. Причем эти факторы могут быть государственно-го, регионального или местного масштаба. При переработке отходов на биогазовых установках можно получить, как уже отмечалось выше, несколько видов ценной продукции: биогаз, который может использоваться либо как топливо при непосредственном сжигании вместо обычного природного газа, либо для выработки электрической и тепловой энергии. Однако эффективное производство биогаза возможно только в том случае, когда суммарная энергия газа будет значительно выше расходов энергии на его производство; электроэнергию; тепловую энергию – либо при прямом сжигании, либо, без дополнительного сжигания газа, от охлаждения электрогенератора в когенерационной установке; биоудобрения: органический осадок после анаэробного сбраживания – это экологически чистые жидкие и твердые удобрения, агрономически высокоэффективные, повышающие урожайность различных сельскохозяйственных культур. Одна тонна таких удобрений (по эффекту «на урожай») равноценна 70–80 тонн природных отходов животноводства и птицеводства.

К прямым экономическим выгодам анаэробного сбраживания органических отходов для непосредственных производителей относится: сокращение расходов на приобретение энергии, энергоносителей, удобрений, гербицидов и эффективное управление отходами, что, в свою очередь, зависит от объема и КПД установки; сокращения платежей за загрязнение окружающей среды; извлечение дохода от продажи излишков продукции биогазовой установки (биогаза, энергии, удобрений); получение дополнительной прибыли от утилизации чужих отходов; самообеспечение топливом и энергией; дешевое и в достаточном количестве исходное сырье (отходы); снижение потребности в покупных топливно-энергетических ресурсах (ТЭР); снижение транспортных расходов на доставку топлива; отсутствие перебоев с поставками топлива и энергии; энергонезависимость; интенсификация производства; возможность различной компоновки биогазовых установок, их модульность и, благодаря этому, возможность наращивания производственных мощностей при изменении количества образующихся отходов; оптимизация окупаемости биогазовой установки за счет эффективного использования биоудобрений и биогаза; повышение рентабельности биогаза; уменьшение количества отходов на 80–90 % и объемов их накопления и, соответственно, загрязнения окружающей среды; снижение себестоимости иной выпускаемой продукции; повышение урожайности сельскохозяйственных культур; эффективное использование сельскохозяйственных территорий.

Недостатками использования биогазовых технологий являются достаточно высокие капитальные, но единовременные вложения. Уровень этих вложений зависит от мощности установки, оснащения современными средствами автоматизации [9].

### **Заключение**

Получение и использование биогаза относится к инновационной энергетике, энерго-, ресурсосберегающим и природоохранным технологиям. Биогазовые технологии предполагают получение тепловой и электрической энергии из любых органических субстратов, включая органические отходы. Их эффективное использование помогает снизить экологическую нагрузку в районе расположения животноводческих предприятий, уменьшить объемы образования отходов и нагрузку на очистные сооружения. Становится возможным обеспечить нужды предприятия собственной электрической и тепловой энергией, а также добиться сокращения выбросов парниковых газов. Эффективное функционирование биогазовых комплексов зависит не только от стабильного получения биогаза необходимого качества, но и от правильного использования дополнительного продукта технологического про-

цесса – органического осадка, который можно использовать как полноценное органическое удобрение. При этом, происходит улучшение качества окружающей среды.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Опыт получения биогаза и удобрений из стоков животноводческих ферм / Л. Г. Горковенко, Н. П. Ледин, И. Н. Ледин и др.; СКНИИЖ. – Краснодар, 2011. – 220 с.
2. Эффективность использования биогазовых установок / С. И. Кононенко и др. // Эффективное животноводство. – 2012. – № 5 (79). – С. 37–39.
3. Бельская Г. В. Перспективы использования органических отходов животноводческих ферм для производства биогаза в Республике Беларусь // Наука – образованию, производству, экономике. – Минск, 2014: тез. докл. / Сб. БНТУ; ред.: С. В. Игнатов и др. – Минск, 2014. – С. 317–321.
4. Кундас С. П., Пашинский В. А., Пилипчук А. С. Государственный кадастр возобновляемых источников энергии: практика и перспективы использования // Энергоэффективность. – 2013 – № 10. – С. 32–34.
5. Утилизация стоков животноводческих ферм / Н. П. Ледин и др. // Вестник Всероссийского научноисследовательского института механизации животноводства. – 2008. – Т. 18. – № 4. – С. 89–93.
6. Мишланова М. Ю. Интегральный эффект внедрения альтернативного энергоносителя – биогаза // Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции 15–19 марта 2004 г.
7. Скляр Р. В., Ускенов Р. Б. Биогаз – альтернативный энергоноситель // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали I Міжнародної наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01–24 квітня 2020 р.). – Метрополь, 2020. – С. 131–135.
8. Biogas Road Map for Europe. – АЕВІОМ, European Biomass Association. 2009. – 24 р.
9. Найман С. М. Экологические и экономические аспекты применения биогазовых технологий для переработки органических отходов // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 17. – С. 191–196.