

Секция «43.16 Экономика устойчивого развития: природопользование, энергетика, бизнес»

### **Декарбонизация системы обращения с органическими отходами АПК: эколого-экономическая оценка биогазовых технологий**

Заявка № 1674542

Проблема обращения с органическими отходами агропромышленного комплекса приобретает особую значимость в контексте глобальной климатической повестки и перехода к низкоуглеродной экономике. Сокращение эмиссии метана от систем утилизации навоза является приоритетной задачей климатической политики [4].

В Российской Федерации ежегодно образуется порядка 300 млн т отходов сельского хозяйства, однако почти весь объем не подвергается должной обработке и утилизируется в лагунах – открытом способом хранения [2]. Технология анаэробного сбраживания позволяет не только предотвращать выбросы парниковых газов, но и замещать ископаемое топливо биогазом, а также производить органические удобрения, что делает ее перспективным направлением развития экономики замкнутого цикла [1].

Целью работы является количественная оценка эколого-экономических эффектов внедрения биогазовых технологий для переработки органических отходов агропромышленного комплекса в контексте декарбонизации. В рамках исследования решались задачи оценки климатического и энергетического потенциала, а также анализа экономической эффективности с учетом различных сценариев монетизации углеродных эффектов.

Исследование базируется на методологии Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) для расчета выбросов парниковых газов от животноводства [3]. Оценка предотвращенных выбросов проводилась для двух сценариев: базовый – открытое хранение навоза, и проектный – анаэробное сбраживание с улавливанием биогаза и его использованием для выработки энергии. В качестве объекта исследования выбрана молочная ферма с поголовьем крупного рогатого скота 11,5 тыс. голов и годовым выходом навоза 160 тыс. т.

Результаты включают в себя:

- Климатические эффекты. Проведенная оценка показывает, что при открытом хранении 160 тыс. т навоза ежегодная эмиссия парниковых газов составляет 238,5 тыс. т CO<sub>2</sub>-экв. Внедрение технологии анаэробного сбраживания с полным улавливанием и сжиганием биогаза позволяет предотвратить указанный объем выбросов, что соответствует снижению углеродного следа предприятия на 90–95% по сравнению с базовым сценарием. Столь высокий показатель достигается за счет улавливания метана, образующегося в процессе хранения, а также замещения ископаемого топлива возобновляемым биогазом.

- Энергетический потенциал. На основе анализа субстрата и сопоставления с реализованными проектами установлено, что переработка 160 тыс. т навоза КРС позволяет обеспечить стабильную работу когенерационной установки электрической мощностью порядка 2 МВт. Данный показатель сопоставим с параметрами действующих биогазовых станций в Европе [5]. Годовая выработка электроэнергии составляет 16–17 млн кВт·ч, что достаточно для обеспечения собственных нужд животноводческого комплекса и поставок избытков в сеть.

- Экономические эффекты. Доходная часть биогазового проекта формируется из нескольких компонентов. Реализация электроэнергии по розничным тарифам обеспечивает ежегодный доход 64–68 млн руб.. Производство дигестата и/или гранулированных удобрений позволяют заместить минеральные удобрения, экономию от которых еще предстоит оценить.

· В качестве альтернативного сценария рассмотрена монетизация климатических эффектов через механизмы углеродного регулирования. При цене углеродной единицы 1000 руб. за ту  $\text{CO}_2$ -эквивалента (ориентир для формирующегося внутреннего российского рынка) предотвращенные выбросы 238,5 тыс. т могут приносить до 238 млн руб. дополнительного дохода ежегодно. Учет данного фактора принципиально меняет инвестиционную привлекательность технологии: срок окупаемости сокращается с 8–10 лет до 4–6 лет.

Основными ограничениями развития биогазовых технологий в России остаются высокие капитальные затраты, отсутствие развитой инфраструктуры по производству оборудования, неопределенность нормативного статуса дигестата/удобрения и слабая информированность потенциальных инвесторов. Вместе с тем, формирование национальной системы углеродного регулирования, развитие добровольных углеродных рынков и реализация Сахалинского эксперимента создают предпосылки для включения климатических эффектов в экономические модели биоэнергетических проектов.

Биогазовые технологии обладают значительным потенциалом декарбонизации агропромышленного комплекса России. Для типового животноводческого комплекса с поголовьем 11,5 тыс. голов КРС внедрение анаэробного сбраживания обеспечивает предотвращение 238,5 тыс. т выбросов парниковых газов ежегодно и выработку 2 МВт электрической мощности.

Учет углеродного фактора в инвестиционные модели способен кардинально повысить экономическую привлекательность биогазовых проектов. При цене углеродной единицы 1000 руб./т технология становится конкурентоспособной без дополнительных мер государственной поддержки, что открывает перспективы для ее массового внедрения в рамках перехода к низкоуглеродной экономике и экономике замкнутого цикла.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку региональных программ развития биоэнергетики с учетом сырьевой специфики субъектов РФ, а также на совершенствование методик оценки полного жизненного цикла биогазовых проектов.

### Источники и литература

- 1) Седнин В.А., Храмцов П.П., Седнин Н.А. Аналитическое решение математической модели анаэробного брожения в проточном биореакторе при производстве биогаза // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2025. – Т. 68, № 3. – С. 259–273.
- 2) Федеральная служба государственной статистики. Охрана окружающей среды в России. 2025: Статистический сборник. – М.: Росстат, 2025
- 3) IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- 4) IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report. – Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- 5) Clarke Energy. 2.9MW Combined Heat and Power at ECOTERRA Biogas, Romania. – Case Study, 2014.