

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ДИГЕСТАТА МЕТАНОВОГО БРОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТ

Николаевич В.Л., магистрант

Научный руководитель Бельская Г.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье представлен обзор современных методов по доработке дигестата – дополнительного продукта метанового брожения с целью получения топливных пеллет. Рассмотрены технологические проблемы, связанные с высоким содержанием водной фракции, проанализированы наиболее перспективные подходы по обезвоживанию дигестата.

Ключевые слова: дигестат, метановое брожение, обезвоживание, топливные пеллеты, циркулярная экономика.

Развитие биогазовых технологий в Республике Беларусь, обусловленное необходимостью переработки органических отходов животноводства, растениеводства и пищевой промышленности, а также получения возобновляемой энергии, привело к значительному увеличению количества действующих биогазовых установок.

По состоянию на 2025 г. в стране функционирует 37 комплексов различной мощности, интегрированных преимущественно в крупные агропромышленные предприятия, которые перерабатывают сырье по двум технологиям – влажной ферментации (22 установки) и сухой ферментации (15 установок).

Несмотря на очевидный ресурсный потенциал образования и складирования органических отходов, использование дигестата для производства топливных пеллет сопряжено с рядом технологических сложностей. Высокая исходная влажность (92-96%) [1], повышенное содержание минеральной составляющей (зольность до 15-35% в пересчете на сухое вещество), низкая температура плавления золы, а также гигроскопичность и неоднородность фракционного состава дигестата существенно снижают энергетическую ценность готовых гранул и ограничивают возможность их сжигания в стандартных котлах без модернизации оборудования и технологических процессов. Кроме того, дополнительные энергозатраты на сушку и гранулирование дигестата снижают экономическую эффективность его переработки в биотопливо.

Этот вопрос требует специального решения для каждого биогазового комплекса, с применением инновационных подходов для улучшения эффективности обезвоживания и улучшения качества топливных пеллет.

Физико-химические показатели: проблема высокой влажности и сложной структуры дигестата.

Дигестат, выходящий из реактора после цикла метанового брожения, характеризуется высокой влажностью – от 90% до 96% (в зависимости от вида ферментации, типа исходного сырья и конструкции реактора).

Установлено, что вода в дигестате находится в трех формах – свободной, слабо связанной и сильно связанной (Таблица 1).

Таблица 1 – Формы воды, содержащейся в дигестате

Форма воды	Время релаксации (T ₂)	Характеристика		
Свободная	100 мс	Не связана с твердыми частицами, свободно удаляется механическими методами		
Слабо связанная	40-100 мс	Удерживается капиллярными силами в порах и на поверхности субстрата		
Сильно связанная	<40 мс	Химически и осмотически связана с коллоидными структурами и органическими полимерами		

Даже после интенсивного механического обезвоживания в дигестате сохраняется преимущественно средне и сильно связанная вода, удаление которой требует значительных энергетических затрат (скрытая теплота парообразования 2260 кДж/кг) [2].

Известно, что форма содержания воды приурочена к определенным органическим субстратам (Таблица 2).

Так, зеленая масса и силос содержат 65-75% свободной воды, и только 5% - химически связанной. Это означает, что целлюлозный материал эффективно подвергается процессам механического обезвоживания. Вторичная биомасса (навоз с.х. животных, активный ил) содержит 55-60% свободной воды и 10% связанной. Это свидетельствует о том, что вторичная биомасса подвергается обезвоживанию в средней степени. И, наконец,

крахмалистые (сахаристые) субстраты содержат до 60% связанной воды, и это их делает практически непригодными для механического обезвоживания.

Таблица 2 – Распределение форм воды в дигестате метанового брожения биомассы в зависимости от типа сырья [3]

Тип сырья	Свободная вода, %	Капиллярно-связанная вода, %	Коллоидно-связанная вода, %	Химически –связанная (клеточная) вода, %
Волокнистое (кукуруза, трава)	65-75	15-20	5-10	5
Крахмалистое (рис, зерно)	40-50	15-20	25-35	5-10
Навоз, ил	50-60	20-25	10-20	5-10

Исходное сырье, используемое в биогазовых технологиях, существенно отличается по сложности удаления сильно связанной воды из образующегося дигестата.

В Республике Беларусь в биогазовых технологиях используют разное органическое сырье. В таблице 3 представлены данные по их видам и объемам образования, с использованием данных Белстат и Минсельхозпрод за 2024-2025 года.

Таблица 3 – Виды органического сырья, используемого в биогазовых технологиях в Республике Беларусь за 2024-2025 гг.

Вид сырья	Категория сырья	Объем, тыс.тонн	Доля, %
Навоз КРС	Жиродержащее/ белковое	21500	27,7
Силос кукурузы	Волокнистое	18860	24,3
Сенаж	Волокнистое	13900	17,9
Зерновые и зернобобовые	Легкогидролизуемое (крахмалы)	9100	11,7
Сахарная свекла	Смешенное (сахара/жом)	5900	7,6
Навоз свиней	Жиродержащие/белковые	5400	6,9
Картофель	Легкогидролизуемые (крахмалы)	3000	3,9

Как видно из приведенных данных, целлюлозное сырье (силос и сенаж) составляет более трети объема (39%) используемого органического сырья. Это создает благоприятные условия для успешного обезвоживания образующегося дигестата. Навоз КРС составляет около 28%. Это базовый субстрат для приготовления рецептуры бродящей смеси в реакторах. Навоз КРС относится к категории сырья со средней степенью связывания воды, что требует смешивания с волокнистыми компонентами для повышения эффективности обезвоживания.

Наиболее проблемная фракция – это крахмалистое сырье (зерно и картофель, которые составляют примерно 12,1 млн тонн или 15,3 %) – образуют большое количество внеклеточных полимерных веществ (ВПВ), что приводит к образованию сильно связанной воды (до 50 %) в дигестате [3].

Промышленные культуры (сахарная свекла примерно 5,9 млн тонн или 7,6 %) – ценность представляет прежде всего жом (отход переработки), содержащий остатки сахаров и целлюлозу. Обладает высоким энергетическим потенциалом и низкой потребностью в энергии для обезвоживания, но требует индивидуального подхода к составлению сырьевой смеси [4].

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что для получения высококачественных пеллет из дигестата, необходимо регулировать входящие потоки органических материалов, используемых в биогазовых технологиях, на их пригодность к обезвоживанию. Это можно достичь путем составления специальной рецептуры бродящей биомассы, с учетом особенностей входящих компонентов, а также их наличия. Переработка органических отходов является существенной составляющей циркулярной экономики.

Литература:

1. Клясова, Ю. В., Цыганова, А. А., Бельская, Г. В. (2024). Управление осадком метанового брожения биомассы для получения биогумуса. Вестник Брестского государственного технического университета, № 1 (133), С. 144–148.
2. Matúš, M., Križan, P., Beniak, J., & Pavůčková, A. (2022). Technological conditions for the production of fuel pellets from biogas digestate. *International Journal of Advances in Engineering and Management*, 4(1), 655–661.
3. Zhao, J., Wang, Z., Li, J., Yan, B., & Chen, G. (2022). Pyrolysis of food waste and food waste solid digestate: A comparative investigation. *Bioresource Technology*, 347, 127191. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127191.
4. Dussan, K., & Monaghan, R. F. D. (2018). Integrated Thermal Conversion and Anaerobic Digestion for Sludge Management in Wastewater Treatment Plants. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 65–85. DOI: 10.1007/s12649-016-9814-6.