

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ МЕТАНОВЫМ СБРАЖИВАНИЕМ

*Каюмов Туланбой Холмирзаевич*

*Андижанский институт сельского хозяйства и агротехнологий.,*

## ENERGY COSTS OF METHANE FERMENTATION WASTE TREATMENT SYSTEM

*Tolanboy Kholmiraevich Kayumov*

*Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnology,*

**Аннотация.** В статье приведены анализ системы переработки отходов метанового сбраживания. Показано расходы энергии по действующим системам биогазовых установки мира. Проведено исследование в удельный расход энергии на перемешивание навоза в метантенке. Дано советы к повышению интенсивности теплообмена, по одновременно увеличивать работа способность системы и сберечь затраты энергии на перемешивание.

**Ключевые слова:** биогаз, утилизация, переработка отходов, биореактор, метантенк, биомасса, теплоизоляция, мезофиль, психрофиль, термофиль.

**Abstract.** The article provides an analysis of the methane digestion waste processing system. The energy consumption of existing biogas systems in the world is shown. A study was conducted into the specific energy consumption for mixing manure in a digester. Advice is given to increase the intensity of heat transfer, while simultaneously increasing the work capacity of the system and saving energy costs for mixing.

**Key words:** biogas, recycling, waste processing, bioreactor, digester, biomass, thermal insulation, mesophile, psychrophile, thermophile.

**Введение.** Расчеты показывают, что при переработке жидких стоков животноводческих, птицеводческих ферм и малых фермерских хозяйства, а

также органических отходов пищевых производства на биогаз ежегодно можно получать в три раза больше энергии, чем производят атомные электростанции страны. С проблемой утилизации отходов тесно смыкается другая - все более обостряющаяся - охрана окружающей среды, которая также требует интенсивной и рациональной переработки отходов животноводства. Концентрация птицеводство и животноводства, как известно, связана с проблемой утилизации отходов ферм. Современная биотехнология предусматривает любые превращения субстрата в кормовой продукт и обратно. Целесообразность осуществления таких процессов определяют главным образом санитарно-эпидемиологические и в меньшей мере технические факторы.

В последние годы разработаны и внедряются в хозяйствах биореакторы нового поколения. Ускорение процесса биохимических превращений достигается в них за счет подготовки исходно загружаемой биомассы и интенсивного отвода газообразных продуктов при пониженном давлении.

Объект исследований. В существующих биогазовых установках процесс метанового сбраживания является энергоемким. На его поддержание расходуется значительная часть выделяемого биогаза, который может быть использован как товарный. Энергия при этом затрачивается:

- на измельчение и перекачивание биомассы (навоза);
- на подогрев вновь загружаемой биомассы и компенсацию теплопотерь в окружающую среду с целью поддержания необходимой температуры биомассы в процессе ее сбраживания;
- на перемешивание биомассы.

Из анализа литературных источников следует, что расход энергии на измельчение и перекачивание биомассы, а также теплопотери через поверхность метантенка в окружающую среду, зависящие от применяемой

теплоизоляции составляют незначительную часть от общих затрат энергии (до 7%).

Термофильный режим сбраживания, который в последнее время получил наибольшее распространение, обуславливает более высокую скорость распада органического вещества, более высокий выход биогаза и более высокую степень обеззараживания. Вместе с тем, сбраживание отходов в термофильном режиме температур, некоторые исследователи считают неэкономичным из-за высокой потребности в энергии и существующего представления о нестабильности эксплуатации метантенков при высоких температурах .

Сравнительно быстро обновляемая биомасса в объеме метантенка обычно требует большого количества затрат энергии на поддержание теплового режима брожения.

Вайсом с соавторами установлено, что при 60° С выход метана (СН<sub>4</sub>) в 2,5 раза больше, чем при 37°С. При этом время пребывания биомассы в метантенке существенно сокращается, Пфедфер наблюдал четырехкратное увеличение скорости процесса при 60°С по сравнению с таковой при 35°С для культур, использующих домашние отходы.

Термофильный режим характеризуется также более высокой технико-экономической эффективностью по сравнению с мезофильным и психрофильным режимами. В большинстве существующих установок на ход теплоты, на нагрев биомассы, поступающей в метантенк, составляет значительную часть затрачиваемой энергии на переработку биомассы.

Данные по расходу энергии в биогазовых установках в странах мира является ниже следующим:

«НИИКОМЖ» (Россия) - ёмкость метантека 250 метр<sup>3</sup>, рабочие температура процесса 40 °С. Расход энергии на перемешивание навоза, 6,8 % от общего расхода теплоты и расход энергии на нагрев, вновь загружаемого

навоза в 80,32 % от общего расхода теплоты. Расход энергии на компенсацию тепловых потерь в 12,81% от общего расхода теплоты.

Из вышесказанных анализ показывает затраты энергии в биогазовая установка, П.В.Богданов в своей работе приводит данные по биогазовой установке Пярнуской межколхозной свинофермы для мезофильного режима брожения. Из этой же выводов видно, что основная часть затрат энергии (более 73%) приходится на подогрев навоза до температуры сбраживания для термофильного режима этот показатель имеет еще большее значение.

Исследователи считают, что расчет теплового баланса возможен, если в каждом конкретном случае, для установки определенной конструкции и размеров, а также для определенного вида навоза (КРС, свиной, овечий и т.п.) будут известны подача и влажность навоза, состав биогаза и количество теплоты, выделяемой при сгорании биогаза.

Для выбора, обоснования и расчета тепловых аппаратов, входящих в предлагаемую технологию переработки навоза и теплового баланса линии в целом необходимо знать основные теплофизические характеристики сбраживаемого навоза (температуропроводность  $\alpha$ ; вязкость  $\mu$ ;  $\rho$  плотность; теплоемкость  $^{\circ}\text{C}$ ), зависимости, характеризующие теплоотдачу на границе "сбраживаемый навоз - ограждающая поверхность установки". Эти показатели в свою очередь зависят от температурного режима брожения.

Таблица 1

**Удельный затраты энергии на работу биогазовая установка Пярнуской межколхозной свинофермы**

<b>Виды затрат</b>	<b>Удельный расход энергии навоза, МД ж/м<sup>3</sup></b>	<b>Доля затрат, %</b>
Подогрев навоза	151,91	73,7
Теплопотери метантенка в окружающую среду	9,79	4,7
Эквивалентный расход энегии на электропривод (перекачиваний,	29,27	14,2

перемешивание и т.п.)		
Внутрицеховые нужды	15,30	7,4
Всего:	206,27	100%

Плотность сбраживаемого навоза с увеличением содержания в нем сухого вещества в отличие от исходного навоза увеличивается. Минимального значения данный показатель достигает при температуре, характерной для термофильного режима сбраживания. При такой температуре идет интенсивный распад беззольного вещества. Выделяющийся газ не успевает прорываться сквозь слой навоза, скапливается в нем, что приводит к значительному увеличению первоначального объема.

Динамическая вязкость сбраживаемого навоза с увеличением его влажности от 86 до 98% и температуры с 15 до 70°C уменьшается соответственно с 1,4 до 0,008 Па с, что приводит к уменьшению затрат на перемешивание навоза в биогазовой установке.

Проведенные рядом авторов лабораторные и производственные опыты показали, что перемешивание навоза в метантенке необходимо для получения максимального количества биогаза. С другой стороны, ряд авторов считает, что с микробиологической точки зрения интенсивное перемешивание в метантенке не дает никаких преимуществ.

Относительный интервал длительности перемешивания варьировался от 6 до 100% и большей частью составлял менее 20%, что свидетельствует в пользу коротких интервалов перемешивания.

Исходя из этих интервалов перемешивания (4,8 часов/сутки), и расходов энергии на перемешивание, сбраживаемого навоза в метантенке необходимо затрачивать энергию 0,085-0,34 МДж/м<sup>3</sup> навоза сутки.

Отсюда удельный расход энергии (Дж/м<sup>3</sup> навоза) на перемешивание навоза в метантенке определяется по формуле:

$$E = (0,085 + 0,34) \times \tau_{сбр}, \quad (1)$$

где

$t_{сбр}$  - время сбраживания, сутки.

Проведенный анализ затрат энергии на поддержание оптимального режима перемешивания навоза в установке позволяет сделать вывод о наибольшей приемлемости способа перемешивания путем многоуровневого поршневого движения биомассы. Большинство авторов считают, что перемешиваемая биомасса в реакторе должна иметь ограниченную скорость (до 0,5 м/с), так как большая скорость движения субстрата с микробиологической точки зрения невыгодна. Кроме того, она хотя и приводит к повышению интенсивности теплообмена, но одновременно увеличивает и затраты энергии на перемешивание. Убедиться в этом легко, проанализировав известные уравнения теплоотдачи и гидравлических сопротивлений при турбулентном движении жидкости в трубном теплообменнике

$$N_u = 0,021 R_e^{0.8} \times P_z^{0.43} \quad (2)$$

$$\Delta P = \frac{\xi_{mp} \ell}{d} + \frac{\sum \xi_m \rho \omega^2}{2} \quad (3)$$

Где,  $N_u$  - критерий Нуссельта;  $R_e$  - критерий Рейнольдова;  $P_z$  - критерий Прандтля;  $\Delta P$  - гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата на стороне данной рабочей среды;  $\omega$  - скорость рабочей среды;  $\rho$  - плотность среды;  $\ell$  - длина канала;  $d$  - диаметр канала;  $\xi$  - коэффициент трения;  $\sum \xi_m$  - сумма коэффициентов местных сопротивлений. Из (2) и (3) находим

$$\alpha = A1 \omega^{0,8},$$

$$\Delta P = A2 \omega^{1,75}$$

где:  $A1$  и  $A2$  коэффициенты пропорциональности.

Из полученных соотношений видно, что увеличение скорости потока в два раза обеспечивает рост теплоотдачи в 1,75 раза, а рост гидравлического сопротивления в этом случае происходит до 3,4 раза.

**Вывод.** Из вышеизложенных соображений следует, что нельзя рассматривать интенсификацию процесса изолированно от производимых при этом затрат энергии.

Таким образом, проведенный анализ затрат энергии на системы обеспечения в процесс метанового сбраживания позволит сделать вывод о том, что главное внимание при поиске путей снижения энергоемкости метанового сбраживания следует уделять системам рекуперации теплоты сброженного навоза и перемешивания биомассы в биореакторах. При этом, учитывая интенсивный способ обработки биомассы в термофильном режиме, целесообразно выбирать рекуператоры интенсивного действия. Кроме того, выбираемые аппараты должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к установкам, работающим с неньютоновским характером жидкости, к числу которых относится биомасса.

### Литература

1. Kim, J., Lee, C. Response of a continuous anaerobic digester to temperature transitions: A critical range for restructuring the microbial community structure and function (2016) *Water Research*, 89, pp. 241-251.
2. McHugh, S., Carton, M., Collins, G., O'Flaherty, V. Reactor performance and microbial community dynamics during anaerobic biological treatment of wastewaters at 16-37°C (2004) *FEMS Microbiology Ecology*, 48 (3), pp. 369-378.
3. Cheng, S.S., Huang, S.Y., Lay, J.J., Tsai, P.S., Cho, L.T. Population dynamics of attached biofilm in anaerobic fluidized bed pilot plant (1992) *Water Science and Technology*, 26 (3-4), pp. 503-510.

4. Guo, X., Kang, K., Shang, G., Yu, X., Qiu, L., Sun, G. Influence of mesophilic and thermophilic conditions on the anaerobic digestion of food waste: Focus on the microbial activity and removal of long chain fatty acids (2018) *Waste Management and Research*, 36 (11), pp. 1106-1112.
5. Tian, H., Fotidis, I.A., Mancini, E., Treu, L., Mahdy, A., Ballesteros, M., González-Fernández, C., Angelidaki, I. Acclimation to extremely high ammonia levels in continuous biomethanation process and the associated microbial community dynamics (2018) *Bioresource Technology*, 247, pp. 616-623
6. Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Valijanian, E., Kazemi Shariat Panahi, H., Nizami, A.-S., Ghanavati, H., Sulaiman, A., Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K. A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 2: Mainstream and downstream strategies (2020) *Renewable Energy*, 146, pp. 1392-1407.
7. Vondra, M., Touš, M., Teng, S.Y. Digestate evaporation treatment in biogas plants: A techno-economic assessment by Monte Carlo, neural networks and decision trees (2019) *Journal of Cleaner Production*, 238, статья № 117870