

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ

¹Садчиков А.В., ²Кокарев Н.Ф.

¹ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: lyohantron@mail.ru;

²ООО «Комплексные системы утилизации», Оренбург, e-mail: office@komplexu.ru

Требования к допустимым пределам колебания температуры для оптимального газообразования. Влияние температурного режима на интенсивность метанообразования. Зависимость удельного содержания метана в биогазе от температуры процесса. Организация процесса анаэробного сбраживания на биогазовой станции ООО «Комплексные системы утилизации». Энергонезависимый процесс переработки отходов. Продукты, получаемые в результате переработки в биотермическом реакторе. Применение двухкомпонентного биопрепарата «Микс+». Оптимальные температурные режимы биогазовых установок. Виды перемешивающих систем. Виды теплообменных нагревательных аппаратов. Использование резервов энергии для сокращения удельных затрат биогаза на поддержание температурного режима в биотермическом реакторе. Применение эффективной теплоизоляции для снижения потребности в энергии, необходимой для компенсации потерь тепла теплопередачей. Возможность использования теплоты кислотогенеза. Способ улучшения условий теплового режима ферментации при двухступенчатом анаэробном сбраживании.

Ключевые слова: биогаз, температурный режим, метантенк, сбраживание

OPTIMIZATION OF THE THERMAL REGIME IN BIOGAS PLANTS

¹Sadchikov A.V., ²Kokarev N.F.

¹FGBOU VO «Orenburg State University», Orenburg, e-mail: lyohantron@mail.ru;

²LLC «Integrated Recycling Systems», Orenburg, e-mail: office@komplexu.ru

The requirements for a valid range of temperatures for optimum gassing. Effect of temperature on the rate of methane formation. Dependence of the methane content in the biogas from the process temperature. Organization of the process of anaerobic digestion in the biogas plant LLC «Integrated Recycling Systems». Nonvolatile process of recycling. The products obtained by processing in the bio-reactor. The use of two-component biological product «Mix+». Optimum temperature of biogas plants. Types of mixing systems. Types of heat exchange of the heating apparatus. Using the reserves of energy to reduce the unit cost of biogas to maintain temperature in the bio-reactor. The use of effective thermal insulation to reduce energy requirements necessary to compensate for heat loss heat transfer. The ability to use heat of the acid genesis. A method of improving the thermal conditions of a two-stage fermentation anaerobic digestion.

Keywords: biogas, temperature, digester, digestion

Биогаз является продуктом обмена веществ бактерий, образующимся вследствие разложения ими органического субстрата.

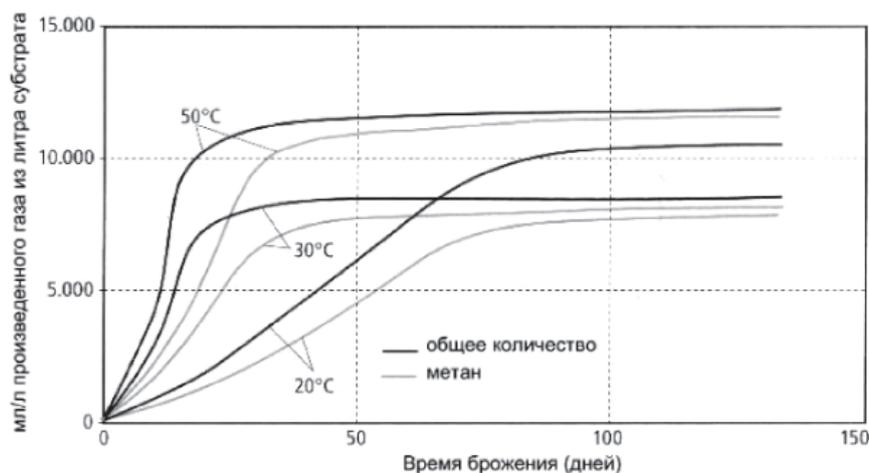
Биогазовые установки обеспечивают переработку органических отходов (стоков животноводческих производств и растениеводства) и осадков сточных вод в биогаз (горючий газ). Наряду с биогазом биогазовые установки производят высокоэффективное дорогостоящее жидкое органическое удобрение [3].

Метановые бактерии проявляют свою жизнедеятельность при температуре 0–70°C. Если температура выше – они начинают гибнуть, за исключением нескольких штаммов, которые могут жить при температуре среды до 90°C. При минусовой температуре они выживают, но прекращают свою жизнедеятельность. В литературе нижнюю границу температуры указывают в пределах 3–4°C.

Скорость процесса брожения очень сильно зависит от температуры. Принципи-

ально важной является закономерность: чем выше температура, тем быстрее происходит разложение и тем выше производство газа. Таким образом сокращается время разложения (рисунок). При возрастании температуры снижается содержание метана в биогазе. Это связано с тем, что при высоких температурах растворенная в субстрате двуокись углерода интенсивнее переходит в газообразную фазу (в биогаз), таким образом, что относительное содержание метана сокращается. Количество газа, которое можно извлечь, будет одинаковым при достаточном количестве времени брожения [2].

Для обеспечения наибольшего выхода биогаза и получения качественных, лишенных патогенной микрофлоры, гельминтов, их яиц и семян сорняков, органических удобрений в биогазовой установке должен поддерживаться оптимальный для данной установки температурный режим – важнейший фактор процесса сбраживания.



Влияние температуры брожения и времени брожения на количество произведенного газа

С учетом оптимизации процесса переработки органических отходов для получения биогаза выделяют три температурных режима:

- 1) психрофильный – до 20–25°C;
- 2) мезофильный – 25–40°C;
- 3) термофильный – свыше 40°C.

Психрофильный режим не требует дополнительного подогрева и проходит без дополнительного контроля за температурой, используется в соответствующих климатических зонах, с показателями среднегодовой температуры, составляющими не менее 18–20°C. Мезофильный и термофильный процессы требуют наличия внешнего источника тепла и строгого контроля за температурой. При этом чем выше температура, тем быстрее и с большей производительностью идет образование биогаза. Однако при высокой температуре процент метана в биогазе может быть снижен, кроме того, в отходах переработки после производства биогаза будет содержаться гораздо меньшее количество азота. При использовании термофильного режима отходы и фекальные массы, идущие на переработку, обеззараживаются в большей степени, чем при мезофильном, поэтому его целесообразнее применять в тех случаях, когда первоочередным моментом является именно обеспечение санитарной обработки. Поэтому на практике в основном востребован мезофильный режим бактериологического производства биогаза, так как при обеспечении максимально возможной доли метана, в результате на выходе имеется еще и удобрение с высоким содержанием общего азота.

Требования к допустимым пределам колебания температуры для оптимального газообразования тем жестче, чем выше тем-

пература процесса сбраживания: при психрофильном температурном режиме – $\pm 2^\circ\text{C}$ в час; мезофильном – $\pm 1^\circ\text{C}$ в час; термофильном – $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в час.

Оптимальная температура метаногенеза зависит от вида перерабатываемого установкой сырья – органических отходов. Например, в ООО «Комплексные системы утилизации» (Оренбургская область, г. Оренбург) для загрузки в реактор используют различные виды органических отходов (навоз, пищевые отходы, отходы бойни и др.), причем сбраживание происходит в условиях термофильного режима [5]. Процесс осуществляется в условиях термофильного брожения сырья в биотермических реакторах в анаэробных условиях. Сырьем для энергонезависимого процесса служит: навоз КРС, конский навоз, свиной навоз, птичий помет, растительные отходы, биологические отходы и прочее. Продуктами переработки являются:

- эффлюент – жидкие и твердые продукты переработки биоотходов в метантенке;
- биопрепарат «Микс+»;
- биогаз;

биометан – очищенный биогаз, с возможностью использования в двигателях внутреннего сгорания.

Энергонезависимый процесс переработки отходов агропредприятий осуществляются в закрытой системе. Качество процесса определяется косвенными параметрами.

Загрузка отходов агропредприятий производится в приемный резервуар вручную или механически через металлическую решетку. Максимальный размер частиц не должен превышать 3 см. Отходы агропредприятий необходимо разбавить водой до влажности в теплое время года 91%,

в холодное 85%. Разбавленные водой отходы поступают в камеру гомогенизации, где происходит их окончательная подготовка и рецептура. Подготовленный инфлюент поступает в метантенк, где в результате анаэробного сбраживания образуется биогаз и эффлюент.

Образовавшийся в результате анаэробного сбраживания биогаз поступает в фильтр-осушитель для удаления остаточной влаги из биогаза. Осушенный и очищенный биогаз поступает в группу газгольдеров для сглаживания пиков при производстве и потреблении биогаза.

Далее биогаз из газгольдеров может направляться в крематор, который используется для сжигания трудно разлагаемых отходов агропредприятий.

Из газгольдера биогаз поступает в фильтр очистки от CO_2 и осушитель от конечной влаги. В фильтре очистки от CO_2 биогаз очищается до содержания метана в газе 93%, преобразовываясь в биометан, который может быть использован в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания и поступает в группу газгольдеров биометана.

Из газгольдеров биогаз также направляется через фильтр очистки от меркаптановой серы в газовый котел для выработки тепловой энергии и на газопоршневую генераторную установку для выработки электрической энергии, которая используется для поддержания температурного режима в реакторе и других нужд.

Отработанный субстрат разделяется на жидкую (эффлюент) и твердую (шлам) фракции в прессио-шнековом сепараторе, которые используются для приготовления двухкомпонентного биопрепарата «Микс+». В настоящее время «Микс+» используется для получения высококачественных экологически чистых биоудобрений, для обработки проблемных субстратов с целью получения качественно новых продуктов переработки, для проведения комплексных мероприятий по биоремедиации и рекультивации нарушенных земель, а также для повышения степени извлечения остаточных углеводородов нефтегазоконденсатных и нефтяных месторождений.

Чтобы получить необходимую для процесса брожения температуру и по возможности поддерживать ее на постоянном уровне, следует, прежде всего, подогреть подаваемый в реактор субстрат до нужной температуры, дополнительный же подвод теплоты необходим для компенсации тепловых потерь. Теплоту можно подводить к субстрату в рабочем пространстве реактора или в питающем его устройстве. Поскольку пере-

пады температуры отрицательно влияют на ход биологического процесса, необходимо по возможности сочетать подвод теплоты с интенсивным перемешиванием, что в свою очередь обеспечивает равномерную температуру по всему объему реактора.

В настоящее время известны следующие виды перемешивающих систем:

Механические мешалки. Подобные мешалки достаточно эффективны в небольших реакторах при переработке тяжелых субстратов. Однако если используются субстраты с малой вязкостью, к тому же содержащие мало веществ, склонные к осаждению или образованию плавающей корки, то механические перемешивающие устройства применяют и в относительно крупных реакторах. Конечно, механические мешалки наиболее практичны для простых небольших биогазовых установок, используемых в индивидуальных хозяйствах. В качестве такой мешалки может служить, например, обычный вал с лопатками, приводящийся в движение «от руки».

Гидравлические перемешивающие системы. Содержимое крупных реакторов, особенно цилиндрической формы, часто перемешивают гидравлическим способом, то есть с помощью потоков (струй) жидкости, поступающей в реактор.

Перемешивание с помощью газа. Хорошее качество перемешивания получают, нагнетая образующийся в результате брожения газ в жидкий субстрат. Однако при этом субстрат не должен быть слишком вязким и склонным к образованию плавающей корки. Если этими качествами субстрат не обладает, при использовании газа придется непрерывно удалять из субстрата всплывающие частицы или отделять крупные твердые частицы от субстрата перед поступлением его в реактор.

Процесс нагрева происходит путем теплопередачи регенеративными теплообменниками, в которых теплоносителем является вода. Для небольших реакторов с перемешивающими устройствами вполне подходят теплообменные нагревательные аппараты (шланги, цилиндрические или плоские теплообменники), через которые прокачивается горячая вода (более 60°C) и которые можно вынимать из реактора при его очистке [1].

Существуют нагреватели, встроенные в стенки реактора. Кроме того, подогретый субстрат можно осуществлять непосредственно, подавая в него горячую воду или пар, тем самым разбавляя субстрат до необходимой влажности (88–92%). В этом методе вода также служит и для турбулизации субстрата. Равномерную передачу

теплоты субстрату можно обеспечивать с помощью теплообменников, расположенных вне реактора, их следует применять только в сочетании с системой принудительной циркуляции субстрата, что влечет за собою соответствующее повышение затрат, но позволяет надежно регулировать температуру брожения. Более высокая температура, которую необходимо было бы поддерживать, в частности, в установках с термофильными бактериями, повышает риск налипания взвешенных твердых частиц на поверхность теплообменника.

Дополнительный резерв энергии – в той теплоте, которая заключена в удаляемом из реактора шламе; по возможности следует использовать эту теплоту на подогрев загружаемого субстрата и компенсации потерь в реакторе. Простейшую возможность такой утилизации энергии представляет непосредственный перенос теплоты, когда поступающий в реактор жидкий субстрат подогревается в теплообменнике (в котором теплоносителем служит удаляемая из реактора жидкая масса; последняя пропускается через трубки аппарата либо омывает их). Также подогрева загружаемой в реактор массы путем вторичного использования запасенной отводимым субстратом теплоты можно добиться посредством теплового насоса, оснащенного конденсатором или испарителем, конструкция которого должна обуславливаться в каждом конкретном случае свойствами субстрата. Энергия, потребная для процесса брожения, расходуется на подогрев субстрата от температуры подаваемого в реактор жидкого навоза до температуры брожения, а также на компенсацию потерь, вызванных радиацией и теплопроводностью. Энергия, которой следует располагать для подогрева массы, загружаемой в реактор, до температуры процесса, зависит от массы субстрата, его средней удельной теплоемкости, разности между температурой процесса и температурой загружаемого материала.

Во всех случаях применение эффективной теплоизоляции может снизить на несколько процентов потребность в энергии для компенсации потерь тепла теплопередачей. Часть образовавшегося биогаза может непосредственно сжигаться в газовом котле для подогрева воды, которая пропускается через теплообменник (потери энергии при этом минимальны). Другая возможность состоит в сжигании биогаза в двигателе внутреннего сгорания, соединенном с электрогенератором, где воду из системы охлаждения этого двигателя подают в теплообменник.

Одним из способов снижения затрат ТЭР на поддержание оптимального температурного режима является использование теплоты, выделяющейся на стадии кислотогенеза. Реализация такого способа возможна в двухкамерном метантенке, предложенном в патенте РФ № 2349556 [4].

Способ двухступенчатого анаэробного сбраживания органических отходов, включающий предварительный нагрев свежих отходов в теплообменнике, а затем подачу во внутреннюю и внешнюю камеры метантенка для осуществления фаз кислотогенеза и метаногенеза с выходом горючего биогаза и органических удобрений, кислотогенез, осуществляют во внутренней камере метантенка, задерживая некоторое количество сброженной массы в необходимом количестве для активного размножения кислотообразующих бактерий, затем производят отделение летучих кислот от густой массы сепарированием, и далее летучие кислоты нагнетают в необходимом количестве во внутреннюю камеру метантенка, а густую фазу направляют во внешнюю камеру для осуществления метаногенеза.

Таким образом, одной из важнейших задач повышения эффективности работы биогазовых установок является задача сокращения потребления ТЭР при эксплуатации биогазовых установок, в том числе за счет оптимизации условий поддержания температурного режима, что является предметом наших дальнейших исследований.

Список литературы

1. Альтернативная энергетика. Биогаз. – URL: <http://www.energohost.net/biogaz.htm>.
2. Биогазовые установки. Практическое пособие. URL: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf.
3. ГОСТ Р 53790-2010.
4. Садчиков А.В., Соколов В.Ю., Никоноров И.Н. Патент РФ № 2349556: Способ двухступенчатого анаэробного сбраживания органических отходов // Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 20.03.2009.
5. Стандарт организации СТО 69393208-003-2013 «Энергонезависимый процесс по переработке отходов агропредприятий».

References

1. Alternativnaja jenergetika. Biogaz. – URL: <http://www.energohost.net/biogaz.htm>.
2. Biogazovye ustanovki. Prakticheskoe posobie. URL: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf.
3. GOST R 53790-2010.
4. Sadchikov A.V., Sokolov V.Ju., Nikonorov I.N. Patent RF № 2349556: Sposob dvuhstupenchatogo anajerobnogo sbrzhivaniya organicheskikh othodov // Zaregistririvano v Gosudarstvennom reestre izobretenij RF 20.03.2009.
5. Standart organizacii STO 69393208-003-2013 «Jenergon-ezavisimyj process po pererabotke othodov agropredpriyatij».