

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Александр Скляр, Радмила Скляр

Таврический государственный агротехнологический университет

Пр. Б. Хмельницкого, 18, Мелитополь, Украина. E-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

Alexandr Skliar, Radmila Skliar

Tavria State Agrotechnological University

B.Khmelnitsky Avenue, 18, Melitopol, Ukraine. E-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

Аннотация. В статье рассмотрены показатели, которые могут служить для наблюдения за биологическим процессом анаэробного разложения в биогазовых установках мокрого брожения. Дебит биогаза - это полученный объем газа за единицу времени, он при известном объеме подачи в реактор и составе субстрата служит в качестве основы для расчета удельного получения биогаза. В связи с дебитом газа можно рассчитать дебит метана - если он существенно падает, несмотря на неизменную загрузку, следует исходить из ингибирующего воздействия на метаногенные археи. Если отношение метан/углекислый газ в биогазе падает, причем состав субстрата не менялся, причина может заключаться в усиленном по сравнению с образованием метана образовании кислоты. Образование уксусной кислоты из высших жирных кислот и преобразование водорода в метан теоретически могут проходить вместе только в узком диапазоне концентрации. Биологические процессы отличаются температурными оптимумами, так как органические структуры при увеличении температуры могут терять свою стабильность и функциональность. Для балансирования процесса разложения нельзя обойтись без точного измерения подаваемого объема субстрата. Так как наряду с жидкими субстратами в реакторы подаются и твердые вещества, используются различные измерительные системы. Для концентрации применяются суммарные параметры, такие как содержание сухого вещества и органического сухого вещества. Оптимальный диапазон показателя кислотности pH для образования метана располагается в узкой полосе между 7 и 7,5, причем образование газа возможно и за пределами этого диапазона. Высокие концентрации аммония действуют как буфер и таким образом повышенные концентрации органических кислот не обязательно ведут к изменениям показателя pH. Плавающие корки и образование пены являются проблемами для оптимизации работы установки.

Ключевые слова: биогаз, измерение, температура, кислотность, микроэлементы, органические кислоты, субстрат, сухое вещество.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Контроль биологического процесса и его регулирование отличаются сложностью. Цель процесса

анаэробного разложения в сельском хозяйстве обычно заключается в получении постоянного объема метана. Наиболее часто используется реактор (полу-) непрерывного действия с механическим перемешиванием. Непрерывное производство метана здесь достигается, если имеется установившийся режим эксплуатации. В этом случае изменения показателей процесса равны нулю и достигается максимальная возможная для процесса скорость реакции [1-4].

Поэтому такие параметры как объемная нагрузка, время пребывания, достижимая степень разложения и скорость производства газа определяются заранее на этапе проектирования установки и выбора субстрата для переработки. Эксплуатационник установки должен обеспечить, чтобы эти параметры по возможности поддерживались неизменными. Впрочем, установившийся режим на практике не достижим, так как неизбежно возникают неполадки (например, изменение свойств субстратов, неполадки и выход из строя насосов, подача в реактор дезинфицирующих средств и т.д.) [5-8]. Эти неполадки ведут к отклонению от заданного состояния, которые должны быть обнаружены, чтобы можно было идентифицировать и устранить причину.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Отклонение от установившегося состояния может быть обнаружено напрямую посредством балансирования материальных потоков [11, 12]. Но на практике [3, 9, 10] точное измерение состава материалов на входе и выходе, а во многих случаях даже измерение фактически поданного в реактор объема субстрата и полученного объема газа являются проблематичными, так что точное закрытое балансирование массы нельзя реализовать с приемлемыми затратами. По этой причине на многих установках используются адаптированные частичные решения, которые не всегда достаточны для обеспечения стабильности процесса.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проанализировать существующие и самые распространенные показатели для оценки биологического процесса анаэробного разложения в биогазовых установках мокрого брожения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Объем образования биогаза является в качестве продукта обмена веществ и целевого параметра важным показателем. Дебит биогаза - это полученный объем газа за единицу времени (например, стк^{-1}), он при известном объеме подачи в реактор и составе субстрата служит в качестве основы для расчета удельного получения биогаза (на субстрат и объем). Без измерения дебита биогаза нельзя обойтись при балансировании процессов обмена веществ и для оценки производительности метаногенной популяции [9].

При установке приборов для измерения количества проходящего газа значение имеет расположение датчиков. Если нужно следить за процессами в отдельных реакторах, то и их дебит биогаза следует регистрировать отдельно. В случае с пленочными крышами для расчета дебита газа следует учитывать объем накопителя, его можно измерять на основании данных об уровне заполнения (например, датчик перемещения с канатной системой), внутреннем давлении и температуре в газовой камере. Датчики в газовой камере должны отвечать требованиям взрывозащиты и должны быть устойчивы к воздействию коррозии и высокой влажности.

Состав биогаза может служить для оценки различных факторов. Ниже даются объяснения по отдельным компонентам и их значению для процесса.

Доля метана в биогазе служит для оценки состояния метаногенного биоценоза. В связи с дебитом газа можно рассчитать дебит метана - если он существенно падает, несмотря на неизменную загрузку, следует исходить из ингибирующего воздействия на метаногенные археи. Для оценки производительности по метану места [9] для измерений следует предусмотреть во всех реакторах. Концентрация метана измеряется в биогазовой технологии при помощи инфракрасных датчиков или датчиков теплопроводности.

Углекислый газ образуется на этапе гидролиза/образования кислоты, а также в процессе образования метана. Он растворяется в воде и образует важный гидрокарбонатный буфер. Если отношение метан/углекислый газ в биогазе падает, причем состав субстрата не меняется, причина может заключаться в усиленном по сравнению с образованием метана образовании кислоты. В таком случае [9] нарушено равновесие массовых потоков процесса разложения. Причина может заключаться в колебании объема подаваемого материала или в ингибирующем воздействии на метаногенную популяцию.

Кислород должен содержаться в биогазе только в том случае, если он добавляется для биологического обессеривания. В этом случае измерение

кислорода может служить для установления необходимого для обессеривания содержания кислорода. Кислород может измеряться электрохимическими и парамагнитными датчиками.

На метаногенные археи воздействуют только высокие концентрации сероводорода (около 20 000 ppm), что на сельскохозяйственных биогазовых установках бывает редко. Измерение сероводорода производится электрохимическими датчиками.

Водород - это важный промежуточный продукт в процессе образования метана, который освобождается преимущественно в ходе образования кислоты, в частности уксусной, а затем преобразуется в метан. Предпринято множество попыток использования концентрации водорода в биогазе для обнаружения технологических неполадок. При этом значение имеет то, что образование уксусной кислоты из высших жирных кислот и преобразование водорода в метан теоретически могут проходить вместе только в узком диапазоне концентрации. Пригодность этого параметра является спорной, так как не всегда можно однозначно соотнести концентрацию водорода в биогазе и неполадку. Концентрацию водорода в биогазе можно просто измерять электрохимическими датчиками.

Скорость реакции растет при увеличении температуры. Но биологические процессы отличаются температурными оптимумами [11,12], так как органические структуры (например, белки) при увеличении температуры могут терять свою стабильность и функциональность. Для технического использования анаэробных процессов различают, в основном, два температурных диапазона:

- мезофильный диапазон около 37 - 43 °С
- термофильный диапазон около 50 - 60 °С

Так как при анаэробной ферментации почти не выделяется тепло (кроме некоторых биогазовых установок на возобновляемом сырье), субстрат нужно нагревать до температуры брожения. При этом важно, чтобы температура поддерживалась на одном уровне. Прежде всего, термофильный процесс чувствительно реагирует на колебания температуры.

Температурные датчики должны монтироваться на разной высоте, благодаря этому можно обнаружить расслоение и недостаточное перемешивание. Кроме того, нужно следить за тем, чтобы датчики не располагались в мертвых зонах или слишком близко к устройствам регулирования температуры. Для измерения температуры подходят резистивные датчики (например, PT 1000 или PT 100) или термоэлементы.

Для балансирования процесса разложения нельзя обойтись без точного измерения подаваемого объема субстрата. Так как наряду с жидкими субстратами в реакторы подаются и твердые вещества, используются различные измерительные системы.

Твердые вещества лучше всего взвешивать, что выполняется при помощи весов пневмоколесных погрузчиков или весовых установок на системах подачи в реакторы. При этом последние отличаются большей точностью и могут интегрироваться в автоматические системы управления технологическими процессами. Для весовых установок

используются датчики давления, которые предполагают наличие „парящих” резервуаров. Поэтому в области этих датчиков нужно избегать загрязнения, а также пополнения промежуточных резервуаров во время загрузки.

Для жидких субстратов на трубопроводах могут использоваться расходомеры, а в случае наличия приемных емкостей соответствующий объем можно получать и при помощи измерителей уровня.

Уровни заполнения (также для реакторов) могут определяться при помощи датчиков давления (гидростатическое давление в реакторе) или ультразвукового либо радарного измерения расстояния до поверхности. При выборе и размещении датчиков нужно следить за тем, чтобы особые эксплуатационные состояния, такие как отложения на днище реактора (например, песок), образование пены, осаждения серы в газовой камере и т.д. не влияли на точность измерений. Кроме того, следует обеспечить взрывозащиту.

Для расходомеров себя зарекомендовали приборы, которые работают без подвижных частей в измеряемой среде. В основном используются индуктивные и емкостные датчики [9, 14], иногда применяются ультразвуковые и теплопроводные датчики. В зависимости от технологии следует обеспечивать достаточный впускной участок перед датчиками для образования ламинарных потоков в трубе.

Наряду с количеством подаваемого субстрата для баланса массы нужно знать его концентрацию и состав.

Для концентрации применяются суммарные параметры, такие как содержание сухого вещества (СВ) и органического сухого вещества (оСВ) [12,19]. Для жидких субстратов также может применяться химическая потребность в кислороде (ХПК), кроме того иногда также используется общее содержание органического углерода (ОСОУ). Практическое значение имеют только два названных первыми показателя.

В качестве первого шага для определения разлагаемых долей в субстрате служит определение содержания воды или сухого вещества. Для этого проба высушивается в лаборатории при температуре 105°C до постоянного веса. Сейчас также уже существуют новые датчики на базе микроволн и ближнего ИК-диапазона, которые обеспечивают измерение указанных параметров без остановки процесса.

Исходные данные для оценки разлагаемости получают путем определения доли органических компонентов в сухом веществе. Органическое сухое вещество - это суммарный параметр, который получают при прокаливании высушенной пробы при температуре 550 °С. Потеря массы, также называется потерей при прокаливании, называется органическим сухим веществом. Этот показатель является суммарным параметром, который не дает никакой информации по разлагаемости или ожидаемому объему производства биогаза из протестируемого вещества. В литературе [10-15] встречаются ориентировочные показатели, при помощи которых, если известен субстрат и содержание оСВ, можно оценить ожидаемый объем производства газа. При вы-

сушивании пробы удаляются летучие вещества (например, отгоняемые с водяным паром кислоты), которые после этого уже не учитываются в результате анализа. Прежде всего, в случае с подкисленными субстратами (например, силосы) вероятны существенные ошибки при оценке газового потенциала. Поэтому Вайсбах разработал поправку, при помощи которой учитываются летучие вещества. Впрочем, этот метод является существенно более затратным [20].

Уточнение характеристики субстрата может быть достигнуто посредством классифицирования составных частей субстрата по Вендеру (сырая клетчатка, сырой белок, сырой жир и экстрактивные вещества без содержания азота, которые в комбинации с коэффициентами перевариваемости описывают, подходят ли органические вещества в качестве кормов) или распределения по Ван Соесту (гемицеллюлоза, целлюлоза и лигнин). Эти составные части определяют вид образованных промежуточных продуктов. Поэтому при внезапных переходах на другой субстрат может иметь место быстрое обогащение промежуточных продуктов, которые не могут разлагаться, так как популяция соответствующих бактерий отсутствует или растет медленно. При помощи анализа корма можно также точнее по сравнению с методом на базе содержания органического сухого вещества определить ожидаемый выход газа. Поэтому этот анализ больше подходит для оценки качества субстратов.

Органические кислоты являются промежуточным продуктом при образовании биогаза. Кислоты диссоциируют в зависимости от показателя pH в водном растворе. Соответствующие доли можно рассчитать следующим образом [9]:

$$f = \frac{10^{pK_s - pH}}{1 + 10^{pK_s - pH}}, \quad (1)$$

где: f – коэффициент диссоциации, pK_s – отрицательный, десятичный логарифм константы кислотной диссоциации; pH – показатель pH.

В установившемся состоянии скорости образования кислоты и преобразования равны, так что концентрация в реакторе является неизменной. Если образование кислот усиливается или/и их разложение затруднено, образовавшиеся кислоты насыщаются и их концентрация увеличивается. Так как рост бактерий согласно описанным Моно законам зависит от концентрации субстрата, увеличение концентрации кислоты влечет за собой увеличение скорости роста, таким образом, процесс в определенных границах стабилизируется самостоятельно. Но если скорость образования кислот постоянно превышает производительность разлагающих кислоты микроорганизмов, концентрация продолжает расти. Если не вмешаться, кислоты накапливаются до точки, в которой буферная емкость сброживаемого субстрата исчерпывается, и показатель pH снижается. Разложение кислоты затрудняется при повышенных концентрациях недиссоциированной доли кислот - этот эффект усиливается при понижении показателя pH.

Тяжело определить граничное значение для максимально допустимой концентрации кислоты в

установившемся состоянии, так как устанавливающаяся концентрация зависит от таких факторов, как время пребывания, используемый субстрат и имеющиеся ингибирующие вещества.

Для оценки процесса важно, чтобы концентрация кислоты оставалась неизменной. Если концентрация кислоты растет, нужно проявлять осторожность. Для оценки проекта в динамических условиях, то есть при изменениях концентрации кислоты, необходимы модели процесса.

Наряду с суммарными параметрами кислот концентрация отдельных кислот может дать дополнительную информацию. Если спектр показывает, что высшие кислоты по сравнению с уксусной кислотой увеличиваются сильнее, то преобразование этих кислот в уксусную кислоту затруднено. Преобразование высших кислот в уксусную кислоту - это эндогенный процесс, который проходит только при малых концентрациях водорода, кроме того, скорость роста этих микроорганизмов незначительна. Вследствие данных неблагоприятных условий эта отдельная фаза может стать узким местом процесса. Увеличенные концентрации пропионовой кислоты соответственно разлагаются медленно.

Биологические процессы сильно зависят от показателя рН. Оптимальный диапазон показателя рН для образования метана располагается в узкой полосе между 7 и 7,5, причем образование газа возможно и за пределами этого диапазона. При одноступенчатых технологиях показатель рН, как правило, устанавливается в оптимальном диапазоне автоматически, так как группы бактерий образуют систему с саморегулированием. При двухступенчатом процессе показатель рН на этапе гидролиза существенно ниже, обычно в диапазоне от 5 до 6,5, так как оптимум образующих кислоты бактерий находится именно здесь. Показатель рН на метаногенной ступени снова увеличивается до нейтрального диапазона благодаря буферной емкости среды и процессам разложения.

Показатель рН контролирует диссоциационное равновесие важных продуктов обмена веществ, таких как аммиак, органические кислоты и сероводород. Буферная емкость среды (в основном гидрокарбоната и аммония) обычно обеспечивает стабильный показатель рН. Но если имеют место существенные изменения и показатель рН выходит из оптимальной зоны, это в большинстве случаев признак серьезных неполадок, которые следует немедленно устранить.

Микроэлементами называются минеральные вещества, которые встречаются в очень незначительных концентрациях. На установках, которые работают исключительно на возобновляемом сырье (также на барде), бывают технологические неполадки, которые могут устраняться добавлением микроэлементов. Неполадки проявляются в уменьшении выхода газа и росте показателя кислотности. На установках, работающих на жидком навозе, такие феномены не наблюдаются. Точные механизмы и фактически лимитирующие вещества до сих пор не определены, но концентрация микроэлементов в

возобновляемом сырье значительно больше их концентрации в местных удобрениях [19].

Имеется информация о том, что добавление ионов железа в форме хлорида или гидроксида железа, которые часто используются для обесщелачивания, могут оказывать стабилизирующее воздействие. Это связано с тем, что сульфид образует тяжело растворимые сульфиды металлов, таким образом, ограничивается доступность микроэлементов. Если сульфид преимущественно связывается железом, увеличивается доступность других металлов.

При разложении органических субстанций, которые содержат азот, он преобразуется в аммиак (NH_3). Аммиак диссоциирует в воде, образуется аммоний. Азот нужен для строительства клеток, так что он является жизненно важным питательным веществом.

С другой стороны удалось доказать, что высокие концентрации аммиака/аммония в субстрате оказывают ингибирующее воздействие на образование метана. О точных механизмах, которые приводят к ингибированию, единое мнение еще отсутствует, но очевидно, что бактерии в состоянии адаптироваться к повышенным концентрациям. Поэтому важно четко указать на допустимые значения, так как реакция на повышенную концентрацию аммиака/аммония зависит от конкретного процесса.

Многое указывает на то, что ингибирующее воздействие восходит от недиссоциированной доли, то есть от аммиака, получается зависимость ингибирующего воздействия от имеющейся концентрации, температуры и показателя рН [19]. Из этого следует подтвержденный на практике вывод о том, что термофильные установки реагируют на высокие концентрации аммония чувствительнее, чем мезофильные установки. Взаимосвязь представлена при помощи следующего уравнения:

$$c_{\text{NH}_3} = c_{\text{NH}_4} \frac{10^{pH}}{e^{\frac{6344}{273+T}} + 10^{pH}}, \quad (2)$$

где: c_{NH_3} – концентрация аммиака ($\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$), c_{NH_4} – концентрация аммония ($\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$), T – температура ($^{\circ}\text{C}$).

Собранные данные из различных публикаций [10-15] по теме ингибирующего воздействия аммиака/аммония подчеркивают, что универсальных заключений по теме ингибирующего воздействия аммиака/ аммония делать нельзя.

При определенных обстоятельствах производство газа на протяжении определенного времени остается неизменным, но кислоты в сбрасываемом субстрате концентрируются. Высокие концентрации аммония действуют как буфер и таким образом повышенные концентрации органических кислот не обязательно ведут к изменениям показателя рН.

При условии продолжительного времени на адаптацию (до одного года) микроорганизмы могут приспособиться к высоким концентрациям аммиака. Исследования на реакторах с неподвижным слоем показали, что они могут лучше, чем реакторы с механическим перемешиванием приспособиться к повышенным концентрациям. Это позволяет сделать

закончение о том, что при адаптации определенную роль играет возраст бактерий - так что в качестве стратегии по борьбе с ингибированием можно выбрать большое время пребывания в реакторах с механическим перемешиванием.

До сих пор нет четкого понимания того, где находятся границы касательно концентрации аммиака, объемной нагрузки и времени пребывания. Для адаптации необходимо время и она связана с колебаниями производительности разложения. Вследствие этого процесс адаптации связан с экономическими рисками.

Аммиак/аммоний может измеряться посредством чувствительных к ионам зондов, кюветных тестов или традиционным образом при помощи дистиллирования и титрования. Использование зондов на практике не распространено, определение посредством анализа проб в лаборатории более распространено. Так как граничная концентрация зависит от конкретного процесса, концентрация аммиака сама по себе недостаточна для того, чтобы делать выводы о состоянии процесса. Наряду с определением содержания аммония всегда нужно определять и показатель рН, чтобы можно было оценить содержание аммиака. В случае неполадок эти данные могут помочь определить их причину.

Образование плавающих корок может представлять собой проблему на установках с волокнистым субстратом. Плавающие корки [15] образуются, если волокнистый материал всплывает и вследствие свойлачивания образует прочную структуру на поверхности. Если корка не размешивается соответствующими мешалками, она может нарастать до толщины в несколько метров. В этом случае ее приходится удалять вручную.

Но определенная стабильность структуры поверхности вполне желательна на установках, обессеривание на которых производится посредством подачи воздуха в газовую камеру. В данном случае поверхность служит в качестве плоскости обитания для обеспечивающих обессеривание бактерий.

Плавающие корки являются проблемой для оптимизации работы установки, в большинстве случаев они обнаруживаются визуально через смотровое окошко. В настоящее время измерительная техника, которая может фиксировать образование плавающих корок, отсутствует.

Образование пены является следствием уменьшения поверхностного натяжения, что вызывается поверхностно активными субстанциями. Точная причина образования пены в процессе образования биогаза неизвестна. Пена появляется при неоптимальных условиях (например, испорченный силос, перегрузка установки в комбинации с высокой концентрацией аммония). Возможно, что причина заключается в концентрировании поверхностно активных промежуточных продуктов или групп бактерий в процессе в комбинации с сильным образованием газа.

Образование пены может регистрироваться при помощи различных датчиков уровня. Так, датчик давления не будет реагировать на пену, а ультразвуковые датчики будут реагировать на пену как на из-

менение поверхности. Разность обеих систем дает высоту пены.

ВЫВОДЫ

1. При балансировании процессов обмена веществ и для оценки производительности метаногенной популяции необходимо измерять дебит биогаза.
2. Если существенно падает дебит метана, несмотря на неизменную загрузку, следует исходить из ингибирующего воздействия на метаногенные археи.
3. Если отношение метан/углекислый газ в биогазе падает, причем состав субстрата не менялся, причина может заключаться в усиленном по сравнению с образованием метана образовании кислоты. В таком случае нарушено равновесие массовых потоков процесса разложения.
4. Весовые установки на системах подачи в реакторы отличаются большей точностью и могут интегрироваться в автоматические системы управления технологическими процессами.
5. Рост бактерий зависит от концентрации субстрата, увеличение концентрации кислоты влечет за собой увеличение скорости роста, таким образом, процесс в определенных границах стабилизируется самостоятельно.
6. Оптимальный диапазон показателя рН для образования метана располагается в диапазоне 7 и 7,5.
7. В качестве краткосрочного решения при образовании пены эффективны антипенные присадки, в долгосрочной перспективе нужно идентифицировать и устранить причину.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Biogas production from animal wastes, energy plants and organic wastes./ [Amon, T., Hackl, E., Jeremic, D., Amon, B. and Boxberger, J.] In: 9th World Congress, Anaerobic Digestion, Anaerobic Conversion for Sustainability. Proceeding part 1, Antwerpen, Belgium, September 2-6; 2001.
2. **Flys I. 2010.** Engineer project management of production and processing. MOTROL. Vol. 12. 75–81.
3. **Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. 1982.** Биогаз: теория и практика. М.: Колос, 148.
4. **Веденев А.Г. 2006.** Биогазовые технологии в Кыргызской Республике. Бишкек: Типография «Евро», 90.
5. **Гюнтер Л.Л., Гольдфарб Л.Л. 1991.** Метантенки. М.: Стройиздат, 128.
6. **Панцхава Е.С., Кошкин Н.Л. 1993.** Биоэнергетические установки по конверсии органических отходов в топливо и органические удобрения. Теплоэнергетика. № 4, 20–23.
7. Альтернативна енергетика: [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, І.П. Григорюк, В.М. Поліщук, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, С.В. Драгнев, І.В. Свистунова, С.М. Кухарець. – К.: «Аграр Медіа Груп», 2011. 612.

8. **Koster, IW; Lettinga, G. 1988.** Anaerobic digestion at extreme ammonia concentrations. *BIOL. WASTES*. Vol. 25. № 1, 51-59.
9. Руководство по биогазу. От получения до использования. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V (FNR) [Электронный ресурс] /5- е полностью перераб. издание. - Гюльцов, 2010 г. Режим доступа до журн.: http://esco.co.ua/journal/2012_9/art272.pdf.
10. **Голуб Г., Швец Р. 2014.** Усовершенствование технологической схемы удаления и переработки навоза в органические удобрения и биогаз. *MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture*. Vol.16. No.4. 269-274.
11. **Шацкий В.В., Скляр А.Г., Скляр Р.В., Е.А. Солодка. 2013.** Влияние структуры субстрата на выход биогаза при метановом брожении. Труды Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь: ТГАТУ. Вып. 13. Т. 3, 3 – 12. (Украина)
12. **Скляр А.Г., Скляр Р.В. 2013.** Анализ методов определения времени пребывания и нагрузки на метантенк. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко. Вып. 148, 405-412. (Украина)
13. **Скляр А.Г., Скляр Р.В. 2012.** Обоснование схемы биогазовой установки с направляющими конусами/ О.Г. Скляр, Р.В. Скляр // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. – Винница. Вып. №11 (65). Т.1, 360-363. (Украина)
14. **Эдер Б., Шульц Х. 1996.** Биогазовые установки. Практическое пособие [Электронный ресурс]/ Режим доступа до журн.: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practices.pdf - Перевод с немецкого выполнен компанией Zorg Biogas в 2008 г.
15. **Скляр А.Г., Скляр Р.В. 2012.** Обоснование параметров процесса метаногенерации навоза с растительным сырьем. Научный вестник Таврического государственного агротехнологического университета. Мелитополь. Вып.2, Т.2, 36-42. (Украина)
16. **Kryvoruchko V., Amon T., Amon B., Dubrovin V., Melnychuk M., Krasowski E. 2012.** Co fermentation of sugar by-products with typical agricultural substrates. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin. Vol. 14. No 3. 32-39.
17. **Мельничук М., Дубровин В, Таргоня В., Драгнев С. 2012.** Методологические основы разработки сельскохозяйственных биоконверсных комплексов. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin. Vol. 15. No 3. 3-12.
18. **Hopfner-Sixt K., Amon T., Bodiroza V., Kryvoruchko V., Milovanovic D., Zollitsch W., Boxberger J. 3/2006.** Biogas production from agricultural resources: characteristic values for material and energetic evaluation. *Landtechnik. Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen*. ISSN 0023-8082.
19. **Skliar A., Skliar R. 2014.** Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL. Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin. Vol.16. No2. 183-188.
20. **Вайсбах Ф. и С. Штрубельт. 2008.** Коррекция содержания сухого вещества кукурузного силоса в качестве субстрата для биогаза. *Сельскохозяйственная техника* 63. Т. 2, 82-83 (Германия)

ANALYSIS OF INDICATORS FOR MONITORING BIOLOGICAL PROCESSES OF ANAEROBIC DIGESTION

Summary. The article describes the indicators that can be used to monitor the biological process of anaerobic digestion in wet fermentation biogas plants. Biogas production rate - is the obtained volume of gas produced per unit of time, it serves as a basis for the calculation of the specific production of biogas with a certain amount of feed to the reactor and the composition of the substrate. In connection with the gas production rate, the methane production rate can be calculated - if it drops significantly, despite invariable loading, it should be based on the inhibitory effects on archaea methanogen. If the ratio of methane / carbon dioxide in the biogas drops, though the solution of the substrate is not changed, the reason could be the enhanced formation of methane in comparison with the formation of acid. The formation of acetic acid from higher fatty acids and the conversion of hydrogen to methane may theoretically implement simultaneously only through a narrow range of concentrations. Biological processes are temperature optima different, since the organic structure while increasing temperature may lose its stability and functionality. To balance the decomposition process the substrate supply volume should be accurately measured. Since the liquid substrates are supplied to the reactor along with solid substances, different measuring systems are used. To apply the concentration total parameters such as dry matter content and organic dry matter are applied. The optimum pH acid value range for methane formation is of limited range between 7 and 7,5. High concentrations of ammonium function as a buffer and thus higher concentrations of organic acids does not necessarily lead to changes in pH. Floating cats and foam formation are the problems to optimize the plant operation.

Key words: biogas, measurement, temperature, acidity, minerals, trace elements, organic acids, substrate, dry matter.