



**В.В. Ковалев**  
 Институт исследований и инноваций  
 Молдавского государственного университета  
**О.В. Ковалева**  
 Институт химии Молдовы  
**Д.В. Унгуриану**  
 Технический университет Молдовы

## ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЛОРИЙНОГО БИОГАЗА ПРИ ПОВЫШЕННОМ ДАВЛЕНИИ

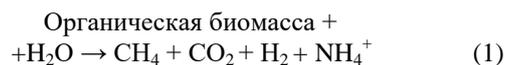
Рассмотрены факторы, повышающие энергетические показатели процессов биогазовой технологии и калорийность получаемого биогаза. Изучены процессы саморегулирования давления выделяющимися газами над раствором в биореакторе. Описан метод очистки биометана от примесных газов путем их селективного удаления из состава биогаза с учетом разницы растворимости газов при повышенном давлении в соответствии с законом Генри. Приведена схема комбинированного реактора для реализации этих процессов и получения высококачественного биогаза, близкого по составу к природному газу.

Калорийность биогаза, автогенерированное давление, электролизный водород, когенерация электрической и тепловой энергии.

Истоки биогазовых технологий, основанных на естественных процессах сбраживания, исходят из древнейших времен. Современное их состояние базируется на технологии анаэробной обработки жидких и твердых органических отходов, являющейся перспективным направлением, обеспечивающим получение биогаза, содержащего метан, – одного из видов альтернативной «зеленой» энергии.

В соответствии с современными представлениями (рис. 1) образование биометана протекает через ряд стадий, включающих сложные биохимические превращения, протекающие как в жидкой, так и в газовой фазе в результате жизнедеятельности консорциума

микроорганизмов [1]. Суммарная реакция этих процессов может быть описана реакцией общего вида:



Одной из важных биохимических реакций при этом является биохимическое восстановление водорода, выделяющегося на первичной ацетогенной стадии, который затем на метаногенной стадии вступает во взаимодействие с моно- и диоксидом углерода, образуя метан по схемам 2 и 3:

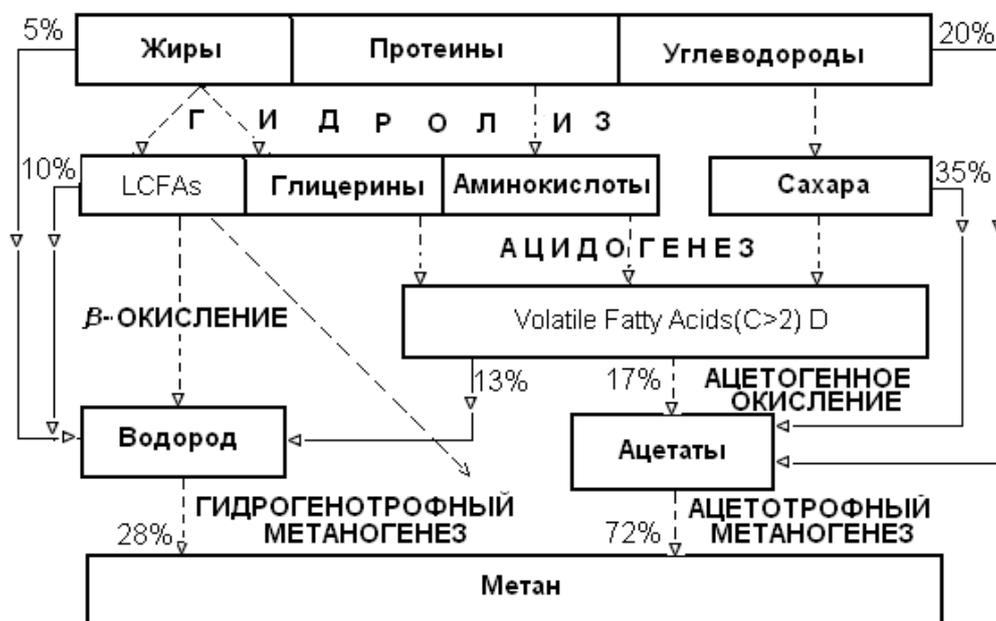
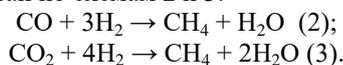


Рис. 1. Пути метаболизма органических соединений при анаэробном сбраживании [1]

Качество биогаза определяется в первую очередь содержанием в нем метана. Выделяющийся  $\text{CO}_2$  разбавляет биогаз и снижает его энергетические показатели. В реальных условиях метаногенеза содержание метана в составе биогаза обычно  $50 \pm 10\%$ , а  $\text{CO}_2$  находится в пределах 30–45%. Хотя калорийность биогаза такого качества низка, он может быть непосредственно использован для производства электроэнергии и тепловой энергии в когенерационных установках, изготавливаемых в коррозионностойком исполнении.

Однако из-за наличия примесных газов такой биогаз имеет ограничения в применении в других производственных процессах, в частности, его качества недостаточно для подачи в централизованную распределительную газовую сеть, а также для использования как автомобильного топлива, для которых установлены верхние пределы содержания  $\text{CO}_2$  не более чем 3–6%. Кроме того, в составе биогаза находятся другие нежелательные примесные газы –  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ . При этом  $\text{CO}_2$  не только снижает калорийность биогаза, но и является химически агрессивным, как и  $\text{H}_2\text{S}$ , поэтому может представлять риск коррозии металлов и выхода из строя трубопроводов и оборудования. При повышенных давлениях, которые создаются вследствие конденсации воды в трубопроводах, образуется углекислота, а агрессивный  $\text{H}_2\text{S}$  трансформируется в серную кислоту, особенно в подземных трубопроводах и в газохранилищах. Предотвращение таких рисков требует очистки биогаза от сопутствующих агрессивных газов, а также удаления воды в нем до уровня ниже точки ее конденсации.

Основной причиной ограничений содержания аммиака является предотвращение образования  $\text{NO}_x$  в процессах горения. Кроме того, его наличие в биогазовом топливе приводит к сокращению срока службы моторного масла в системах оборудования. И, наконец, силосаны, галогенизированные углеводороды и фосфины, а также соединения, которые могут попасть с ферментируемыми органическими отходами в состав биогаза, при сжигании биогаза могут вызывать коррозию оборудования и вывода его из строя.

Поэтому актуальным является комплексный подход к разработке более эффективных биогазовых технологий с увеличением содержания метана в составе биогазе до 90% и более. Это может быть достигнуто несколькими путями, нашедшими отражение в наших предыдущих работах по совершенствованию технологии метаногенеза с использованием фитокализаторов нового типа из числа биологически активных соединений [2]. Нами установлена положительная роль введения молекулярного водорода  $\text{H}_2$  в метаногенный процесс для последующей микробиологической трансформации его совместно с  $\text{CO}_2$  для повышения выхода биометана [3–5].

Определенный вклад внесен в разработку реагентно-химической технологии очистки и доочистки биометана от сопутствующих газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ) [6].

Однако остаются еще недостаточно изученными проблемы влияния давления на интенсификацию процессов получения высококачественного биогаза, близкого по составу к природному газу для его более широкого промышленного использования, включая

соответствие требованиям его подачи в местные газовые распределительные сети.

Идея абсорбционной очистки биогаза, основанная на различной растворимости газов ( $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ ) при повышении давления, была описана в 1991 году Ричардсоном с сотрудниками [7]. Процесс осуществлялся путем автогенерирования давления для кондиционирования состава биогаза, образуемого при ферментации энергетических культур и навоза. Определенный интерес представляют публикации [8, 9], в которых описываются результаты исследований по устойчивости жизнедеятельности культивируемых микроорганизмов в лабораторном реакторе высокого давления с образованием повышенного содержания метана из формиата в реакторе высокого давления.

Цель настоящих исследований состоит в разработке новой концепции безреагентной технологии селективного удаления примесных агрессивных газов для производства высококачественного биогаза путем автогенерирования повышенного давления, достигаемого за счет внутриреакторного газовыделения при анаэробном сбраживании биомассы. Очистка биогаза обеспечивается за счет разницы констант растворимости сопутствующих газов в ферментируемой жидкой биомассе. Примесные газы избирательно растворяются при повышении давления в воде в большей степени, чем  $\text{CH}_4$ , обеспечивая селективную очистку биогаза и повышая его качество.

Теоретическая основа поставленных задач базируется на двух законах, относящихся к процессам, протекающим в газовой фазе: закону Ле-Шателье и закону Генри. Закон Ле-Шателье характеризует систему, находящуюся в устойчивом равновесии при внешнем воздействии; при изменении условий равновесия, в частности давления, усиливаются процессы, направленные в сторону противодействия этим изменениям. Из рассмотрения с этих позиций вышеприведенных биохимических реакций взаимодействия водорода с  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  (реакции 2 и 3), следует, что увеличение давления в системе приводит к возрастанию содержания биометана в составе биогаза. Проведенные эксперименты показали возможность интенсификации биохимического процесса в условиях повышенного давления в биореакторе, которое обуславливает увеличение концентрации взаимодействующих исходных компонентов за счет уменьшения объема газовой фазы. Исходя из стехиометрии реакций метанообразования, при взаимодействии  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  для образования одного моля  $\text{CH}_4$  требуется 3 или 4 моля  $\text{H}_2$  соответственно. Поэтому согласно закону Ле-Шателье равновесные концентрации исходных компонентов уменьшаются и процесс образования молекул  $\text{CH}_4$  идет с уменьшением объема газовой смеси. В связи с этим увеличение давления в биореакторе приводит к повышению скорости реакции в газовой фазе, и выход биометана в закрытом объеме биореактора непрерывно увеличивается. Таким образом, увеличивается вероятность взаимодействия водорода, выделяющегося на ацетогенной стадии процесса, с  $\text{CO}_2$  с получением  $\text{CH}_4$ .

Закон Генри трактует, что при постоянной температуре растворимость газа в данной жидкости прямо пропорциональна давлению этого газа над раствором.

Так, стандартные константы растворимости Генри для  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{NH}_3$  в воде составляют 0,016, 0,318, 1,150 и 620 моль л<sup>-1</sup> МПа<sup>-1</sup> соответственно. Из теоретических величин констант можно сделать вывод, что  $\text{CO}_2$  и другие перечисленные примесные газы из состава биогаза при повышении давления растворяются в водной среде лучше, чем  $\text{CH}_4$ . Такое различие растворимости газов в жидкой среде ферментируемой биомассы обеспечивает возможность селективного отделения биометана и отвода его в газообразном концентрированном виде. При этом остальные примесные газы, включая  $\text{CO}_2$ , растворяются в воде и отводятся из биореактора вместе с обработанными сточными водами.

В качестве объекта исследования использовалась барда от спиртоперегонного производства, представляющая собой жидкую суспензию желтоватого цвета с влажностью 91,3–91,6%, незначительным содержанием сухого вещества – 8,4–8,8% и кислой реакцией среды (рН=5,4). Она характеризуется высокими показателями ХПК и БПК<sub>5</sub> – 28250 и 17800 мгО<sub>2</sub>/л соответственно, и содержит аэробную гетеротрофную микрофлору. После нейтрализации и подщелачивания барда была использована как среда для культивирования метанобразующих бактерий в биохимическом процессе.

Для инициирования метаногенного процесса использовали осадок сточных вод с содержанием метанобразующих микроорганизмов в нем в количестве  $350 \cdot 10^3$  КОЕ. Микробиологические исследования

показали, что такой осадок является биологически активным материалом со слабощелочной реакцией (рН=7,5), обладающий повышенным содержанием органического вещества в нем (в среднем 21,3%), что обуславливает высокую численность бактерий. Одна тонна отхода содержит в среднем 5,0 кг сухой микробной биомассы. Содержание микробного углерода составляет 2,5 мгС/г осадка.

Изучение процессов очистки и модифицирования состава биогаза проводили на лабораторной установке, приведенной на рис. 2.

Биогаз, полученный в биореакторе 1, аккумулировался в тарированной ёмкости 10, вытесняя из неё воду. С помощью термостата 3 обеспечивались условия мезофильного режима сбраживания, составлявшие 32–33°C. После накопления нужного для эксперимента объема биогаза, собираемого в газгольдере 11, вентиль 9 подачи биогаза перекрывался, и собранный биогаз анализировался.

По мере накопления выделяющегося биогаза в биореакторе, самопроизвольно повышалось давление до заданного уровня. В связи с этим, повышалась концентрация компонентов и скорость газовой реакции, а выход биометана непрерывно увеличивался. Состав биогаза анализировался хроматографическим методом. За счет увеличения давления в биореакторе, согласно предлагаемому решению, количество метана в составе биогаза возрастало с 60–65% в стандартных условиях до 90–92% и более, остальное – в основном диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ).

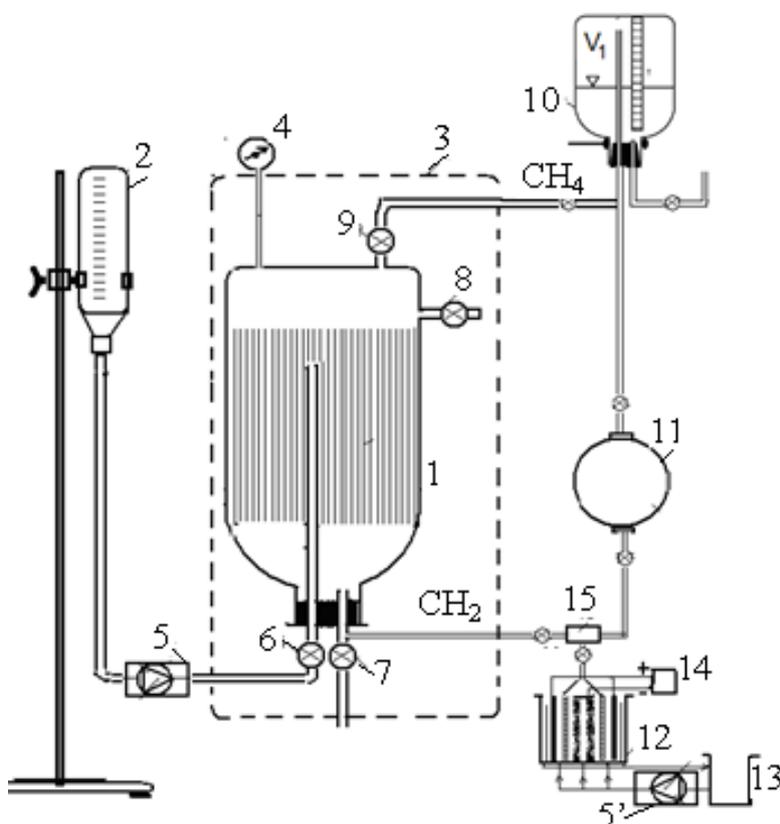


Рис. 2. Схема лабораторной установки: 1 – биореактор; 2 – емкость питательного раствора; 3 – термостат; 4 – манометр; 5, 5' – насосы-дозаторы; 6–9 – вентили; 10 – емкость с тарированным объемом; 11 – газгольдер; 12 – водородный электролизер; 13 – электроды; 14 – источник питания; 15 – смеситель газов

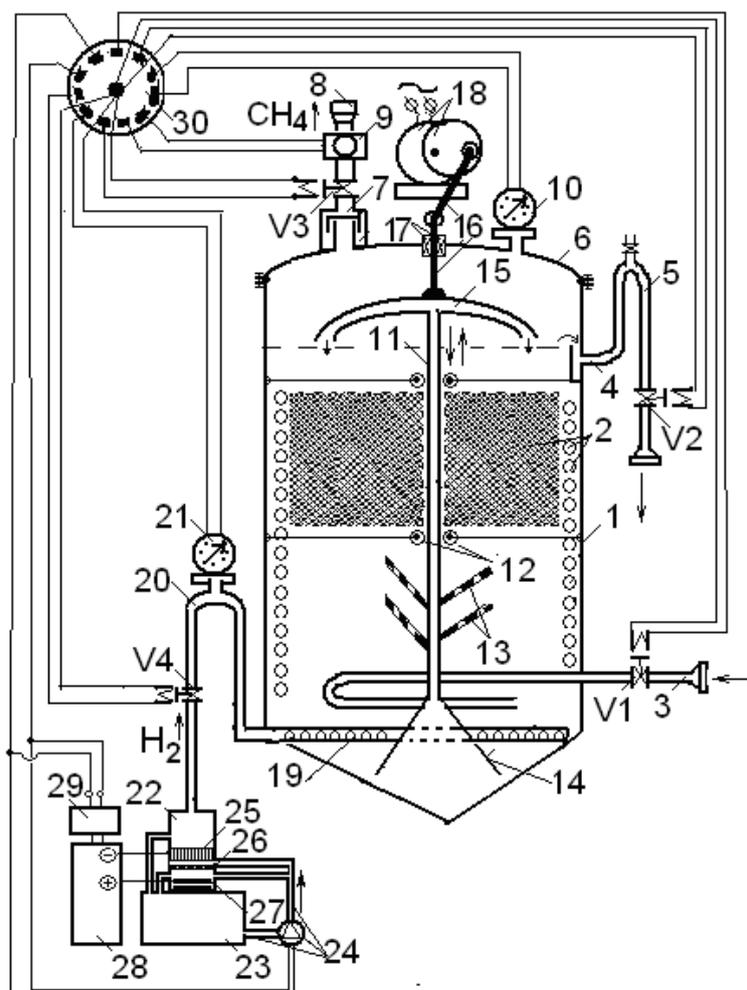


Рис. 3. Схема комбинированного биогазового реактора повышенного давления

На базе проведенных нами испытаний предложена новая конструкция комбинированного анаэробного реактора (рис. 3) с обеспечением автогенерированного повышенного давления за счет выделяющихся газов для анаэробной ферментации спиртоперегонной барды. Предлагаемое нами новое решение по дополнительному дозированию электролизного водорода в биохимический процесс метанообразования, вводимого под избыточным давлением, обеспечивает более полную трансформацию  $\text{CO}_2$  в биометан, снижая его остаточные количества в составе биогаза, и, соответственно, повышает калорийность биогаза.

Реактор включает конический корпус 1 с насадкой и теплообменником 2, патрубками тангенциального ввода 3, снабженного электромагнитным вентилем V1, и патрубком 4 вывода жидкости с сифонным отводом 5, снабженного электромагнитным вентилем V2. Сверху на монтажной крышке 6 размещен колпачковый гидрозатвор 7 с патрубком 8 отвода биогаза с установленным на нем электромагнитным вентилем V3 и электроконтактным датчиком углекислого газа 9, а также электроконтактный манометр 10.

Система рециркуляции биомассы имеет центральную подвижную трубу 11 с роликовыми направляющими 12, перфорированные конусообразные турбулизаторы 13 с воронкой 14 в ее нижней части. В верхней ее части установлен распределитель 15 пото-

ка рециркулирующей жидкости, соединенный с помощью шарнирных стяжек 16 через сальниковые уплотнители 17 с электроприводом 18 возвратно-поступательного движения, расположенный с внешней стороны реактора. Внизу расположен трубопровод 19 с сифоном 20, на котором размещены электроконтактный манометр 21 и электромагнитный вентиль V4 для подачи электролизного водорода от диафрагменного электролизера 22. Электролизер установлен на вспомогательной емкости 23 с системой трубопроводов и рециркуляционным насосом 24. Он содержит объемно-пористый проточный катод 25, отделенный диафрагмой 26 от нерастворимого анода 27, подключенные к выпрямителю постоянного тока 28, снабженному регулятором напряжения 29. Электромагнитные вентили V1, V2, V3 и V4 установлены, соответственно, на трубопроводах ввода и вывода обработанной жидкости, подачи водорода, датчик  $\text{CO}_2$  9, манометры 10 и 21 и регулятор напряжения 29 коммутационно соединены с командоаппаратом 30.

Объем реактора заполнялся жидкой концентрированной биомассой до заданного уровня. В качестве биомассы использовалась смесь послеспиртовой барды и навоза с добавлением стимулирующей биологически активной микродобавки. Поддерживалась оптимальная температура процесса сбраживания  $33 \pm 2^\circ\text{C}$ . С началом процесса сбраживания биомассы

включается подача напряжения на электропривод, что приводит к возвратно-поступательному движению центральной трубы с воронкой. При этом система работает по принципу продавливания жидкости снизу-вверх, благодаря чему обеспечивается рециркуляция биомассы.

Выделяющиеся газообразные продукты повышают давление в реакторе, а наличие сифона на выходном патрубке предотвращает непроизводительный вынос биогаза. Одновременно за счет повышенного давления в биореакторе из него в непрерывном режиме вытесняется только обработанная жидкость.

Работа разработанного реактора включает несколько факторов:

1. Предлагаемая система рециркуляции биомассы с помощью вертикально движущейся воронки в биореакторе не имеет зоны всасывания, поэтому она не разбивает и не измельчает размеры флоккул осадка, что очень важно, так как не снижает его седиментационные свойства. Это благоприятно сказывается на гидродинамике последующего отстаивания осадка, что, в свою очередь, позволяет снизить габаритные размеры отстойников, улучшить условия стабилизации осадка, предотвращая возникновение неприятных запахов, и обеспечить повышенные водоотдающие свойства осадка при его обезвоживании для последующего использования в качестве стабилизированных органических удобрений.

2. Особенность протекания процесса ферментации на первой (ацетогенной) стадии, связана с первичным биохимическим выделением молекулярного водорода, затем  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , которые на метаногенной стадии, наряду с другими биохимическими процессами, трансформируются в метан по вышеприведенным реакциям (2) и (3).

Таким образом, повышенное давление в реакторе является важным фактором в биохимическом процессе, оказывающим влияние как на скорость гомогенных газовых реакций, обуславливающих образование биометана, так и на его выход, повышая содержание его в составе биогаза.

3. Для повышения эффективности анаэробной ферментации предложено дополнительное введение в биомассу фитостимулирующих микродобавок три-терпенового ряда, описанных нами в [2]. Они обладают биологической активностью, воздействуя на развитие жизнедеятельности микроорганизмов, повышая энергию и скорость роста консорциума метаногенных бактерий. При этом интенсифицируется биохимический процесс, повышается его скорость и снижается время его протекания. Это, в свою очередь, улучшает технологические показатели процесса, обеспечивая повышение выхода биогаза и содержания в нем биометана. Снижение времени анаэробного сбраживания, соответственно, снижает капитальные и эксплуатационные затраты на строительство биореакторов.

4. Другим интенсифицирующим фактором в условиях повышенного давления в биореакторе является увеличение концентрации взаимодействующих компонентов за счет уменьшения объема газовой фазы. Поэтому равновесные концентрации исходных компонентов уменьшаются, и этот процесс идет с

уменьшением объема. В связи с этим увеличение давления в биореакторе повышает концентрацию и скорость газовой реакции. Выход биометана в этих условиях непрерывно увеличивается. В связи с этим повышенное давление в биореакторе является одним из важных факторов, способствующих ускорению биохимического процесса, что в результате приводит к увеличению содержания биометана как целевого продукта в составе биогаза.

5. Важным является и то, что вводимые в метаногенный процесс газообразования водород и углекислый газ в процессе их барботации через слой биомассы увеличивают массообменные процессы и массоперенос.

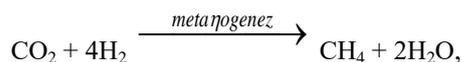
6. Более высокий выход биометана и увеличение его содержания в составе биогаза повышает его калорийность и, соответственно, эффективность процессов когенерации тепловой и электрической энергии на его основе. В когенерационных установках, включающих работу двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и генератор электрического тока, достигается нагрев теплоносителя до  $90\text{--}95^\circ\text{C}$ , поэтому эта тепловая энергия может использоваться как непосредственно в процессах спиртоперегонки, так и для поддержания теплового баланса в анаэробных биореакторах и в других технологических целях, что снижает производственные расходы. Избыток электрической энергии, вырабатываемой когенерационной установкой, работающей на биогазе, позволяет использовать ее для питания электролизера в процессах электрохимического получения водорода и последующего дозирования его в биохимический процесс для взаимодействия в смеси с углекислым газом и трансформации в биометан.

Для этого, при достижении заданного давления в биореакторе, по показанию манометра 10, подающего сигнал на командоаппарат 30, открывается электроконтактный клапан V3 и поступающий биогаз проходит активную зону электроконтактного датчика 9, который регистрирует остаточное содержание  $\text{CO}_2$  в биогазе. Далее импульс от командоаппарата 30 дает команду на открытие клапана V4, а также на регулятор напряжения 29 для включения выпрямителя 28 и работу рециркуляционного насоса 24, обеспечивающего циркуляцию электролита (обычно 20-процентного раствора  $\text{NaOH}$  или  $\text{KOH}$ ) в электролизере 25.

При этом балансовое количество генерируемого электролизного водорода можно автоматически регулировать изменением плотности тока на электродах с помощью системы регулирования силы постоянного тока от выпрямителя 28 в зависимости от содержания  $\text{CO}_2$  в биогазе, фиксируемом датчиком 9, для биохимической трансформации  $\text{CO}_2$  в биометан.

Генерируемый электролизный водород должен обладать более высоким давлением по отношению к давлению в биореакторе 1, фиксируемым манометром 21. Получаемый водород под избыточным давлением отводится по трубопроводу 19 с сифоном 20 и поступает в нижнюю зону реактора 1 в биохимический процесс. Дополнительно вводимый в реакционную смесь газообразный водород ( $\text{H}_2$ ) обеспечивает баланс компонентов для протекания биохимического процес-

са анаэробной трансформации диоксида углерода по реакции общего вида:



условия которой способствуют еще большему повышению выхода метана и его общего содержания в составе биогаза.

Для получения электролизного водорода и его дозирования в биохимический процесс могут быть использованы электролизеры повышенного давления фильтр-прессного типа ЭФ-12, БЭУ-250 и других промышленных конструкций фильтр-прессного типа с моно- или биполярным подключением электродов.

Повышение эффективности процесса электролиза может быть обеспечено также применением электродов, изготавливаемых из пенно-никелевых материалов, выпускаемых заводом ЭКАТ (Пермь), и покрытых сплавом Ni-Re, Ni-Mo либо Ni-W, согласно другим нашим предыдущим предложениям (патенты МД №№ 4087, 4207, 4208), обладающих низким перенапряжением выделения водорода, составляющим 0,04–0,07 В, близким к перенапряжению разряда молекул воды на плотине.



Рис. 4. Общий вид опытного водородного электролизера [10] на базе проточных объемно-пористых электродов из пенометаллов, плакированных химически нанесенным никелевым сплавом

При этом, по сравнению, например, с никелевым электродом, потенциал разряда на котором составляет 0,6 В, обеспечивается существенное снижение энергоемкости процесса электрохимического разложения воды. Для питания водородного электролизера может использоваться электроэнергия исключительно от когенерационной установки, работающей на биогазе, что исключает необходимость ее потребления от внешних источников электроэнергии.

Следует также отметить, что с увеличением давления в электролизере напряжение разложения воды уменьшается. Рост давления позволяет повысить температуру подвергаемого электролизу раствора, снизить поляризацию электродов и падение напряжения в электролите и в диафрагме без повышения газонаполнения. Снижение напряжения на электролизере с рос-

том давления обеспечивается также уменьшением газонаполнения, что связано с уменьшением объема образующихся газов.

Выделяемый водород под избыточным давлением дозируется в анаэробный биохимический процесс, а кислород может использоваться в аэробных процессах очистки сточных вод либо выбрасываться в атмосферу.

Таким образом, благодаря предложенным новым техническим решениям, обеспечивается интенсификация процесса метанообразования в условиях анаэробной ферментации биомассы, достигается существенное возрастание эффективности биохимического процесса, повышение выхода биометана и увеличение степени его чистоты с возможностью автоматизации контроля и управления процессом получения биогаза.

Таким образом, нами были изучены факторы, влияющие на выход биометана для повышения качества биогаза, отмечены преимущества процессов метаноогенеза в условиях автогенерирования давления за счет внутреннего газовыделения в биореакторе, обеспечивающие повышение эффективности процесса и способствующие очистке биогаза от примесных газов с учетом констант их растворимости в соответствии с законом Генри. Кроме того, была рассмотрена роль биоводорода и добавок молекулярного водорода, получаемого в электролизере с использованием объемно-проточных электродов с низким перенапряжением его выделения, и его влияние на повышении эффективности процессов метаноогенеза, и повышения биохимического выхода метана. И, наконец, предложен новый тип комбинированного многофункционального биореактора повышенного давления с системой его автоматического управления для возможности получения высококачественного биогаза.

#### Литература

1. Ковалев, В. В. «Зеленая энергия»: инновационные экобиотехнологии и комбинированные реакторы. Антология изобретений / В. В. Ковалев, Г. Г. Дука, О. В. Ковалева ; Академия наук Молдовы, Институт химии АНМ, Научно-исследовательский Центр прикладной и экологической химии Молдавского государственного университета. – Кишинев : СЕЗ USM, 2017. – 504 с.
2. Effects of Amaranths' Seeds on Dehydrogenase Activity and Gases Emission in Methanogenic Bioreactors. In: Studia Universitatis Moldaviae (англ.). / Covaliov V., Senicovscaia I., Nenno V. [etc.]. // Real and Natural Sciences Ser. – 2015. – № 1 (81). – P.230-235.
3. Covaliov, V. Perfectarea sistemelor de obținere a biogazului (молд.) / Revista „Academicos”. – 2015. – № 4 (39). – P. 38-44.
4. Стимулирование процессов метаногенного брожения жидких органических отходов / В. В. Ковалев, В. Э. Ненно, В. А. Бобейка [и др.]. // Studia Universitatis, seria St.ale naturii, Chişinău, CEP USM. – 2012. – № 1 (51). – P. 160-168;
5. Ковалев, В. В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии / В. В. Ковалев, Д. В. Унгуряну, О. В. Ковалева // Проблемы региональной энергетики. – 2012. – №1. – С. 1-17.

6. Ковалев, В. В. Физико-химические процессы очистки биогаза / В. В. Ковалев, Д. В. Унгуряну, О. В. Ковалева / Сотрудничество для решения проблем отходов : материалы VI Международной конференции (Харьков, 8-9 апреля 2009 г.). – Украина, 2009. – С. 140-142.

7. High solid anaerobic methane fermentation of sorghum and cellulose / В. К. Richards, В. J. Cummings, W.J. Jawell, F. G. Herndon // *Biomass and Bioenergy*. – 1991. – № 1. – С. 47-53.

8. Lindeboom, R. E. F. High-calorific biogas production by selective CO<sub>2</sub> retention at autogenerated

biogas pressures up to 20 bar / Lindeboom R. E. F., Weijma J., van Lier J.B. // *Environmental Science and Technology*. – 2012. – Vol. 46, № 3. – P. 1895-1902.

9. Silicate minerals for CO<sub>2</sub> scavenging from biogas in Autogenerative High Pressure Digestion / Lindeboom, R. E. F., Ferrer I., Weijma, J. & van Lier J.B. // *Water Research*. – 2013. – Vol. 47, №11. – P. 3742-3751.

10. Ковалев, В. В. Совершенствование электрохимических процессов для водородной энергетики / В. В. Ковалев, О. В. Ковалева // Проблемы региональной энергетики. – 2011. – № 1. – С. 1-16.

*V.V. Kovalev, O.V. Kovaleva, D.V. Unguryanu*

## **STUDY OF HIGH-ENERGY BIOGAS PRODUCTION CONDITIONS UNDER INCREASED PRESSURE**

The factors improving the energy indicators of biogas technology processes and the produced biogas calorificity are discussed in this paper. The processes of pressure self-regulation with the emitted gases over the solution in bioreactor are studied. Biogas purification method from the admixture gases based on their selective removal from biogas composition due to the difference in gases solubility under the elevated pressure, according to the Henry's law is described. The scheme of integrated reactor is given for these processes realization and high quality biogas production the composition of which is close to that of natural gas.

Biogas calorificity, autogenerated pressure, electrolytic hydrogen, electric and heat energy co-generation.