

УДК 628.511

С. И. МОНАХ, Л. Ю. ПАНЧЕНКО, А. И. ЦХВЕДИАНИ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ И ОБОГАЩЕНИЯ ГАЗА, ПОЛУЧЕННОГО В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКЕ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос о способах очистки метана, полученного из биогаза, от вредных примесей. Известно, что на сегодняшний день существует три основных способа очистки биогаза: метод жидкого (мокрого) и твердого (сухого) химического поглощения примесей (абсорбционный и адсорбционный), метод мембранного разделения и вымораживания (криогенный метод). Удаление влаги из биогаза совершается механическим путем, а также за счет снижения температуры. Небольшое количество сероводорода удаляется физическими или химическими средствами. Эффективным поглотителем сероводорода является активированный уголь. Выяснено, что на сегодняшний день самым экономически выгодным способом, позволяющим очистить биогаз от сероводорода, стала сухая очистка. Определено, что существует еще один комбинированный метод (мембранно-абсорбционный) разделения биогаза, который позволяет избежать дополнительных затрат энергии на нагрев химического сорбента и охлаждение газовой смеси - при криогенном методе очистки, или на повышение давления биогаза - при мембранном методе очистки. Так же установлено, что после процесса переработки биогаза возможна утилизация отходов из биогазовой установки. Сделаны выводы, что мембранно-абсорбционный метод разделения и очистки биогаза, является самым рациональным на сегодняшний день; рентабельность очистки газа до качества природного газа оправдывает себя лишь при большом расходе топлива; основная масса дохода перерабатывающими компаниями такого уровня появляется не от переработки биогаза или же его сжатия, а от производства биологических удобрений..

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, утилизация отходов, биореактор, метан, сероводород, углекислота, растительная биомасса.

В статье рассмотрен вопрос о способах очистки метана, полученного из биогаза, от вредных примесей. Известно, что на сегодняшний день существует три основных способа очистки биогаза: метод жидкого (мокрого) и твердого (сухого) химического поглощения примесей (абсорбционный и адсорбционный), метод мембранного разделения и вымораживания (криогенный метод). Удаление влаги из биогаза совершается механическим путем, а также за счет снижения температуры. Небольшое количество сероводорода удаляется физическими или химическими средствами. Эффективным поглотителем сероводорода является активированный уголь. Выяснено, что на сегодняшний день самым экономически выгодным способом, позволяющим очистить биогаз от сероводорода, стала сухая очистка. Определено, что существует еще один комбинированный метод (мембранно-абсорбционный) разделения биогаза, который позволяет избежать дополнительных затрат энергии на нагрев химического сорбента и охлаждение газовой смеси – при криогенном методе очистки, или на повышение давления биогаза – при мембранном методе очистки. Так же установлено, что после процесса переработки биогаза возможна утилизация отходов из биогазовой установки. Сделаны выводы, что мембранно-абсорбционный метод разделения и очистки биогаза, является самым рациональным на сегодняшний день; рентабельность очистки газа до качества природного газа оправдывает себя лишь при большом расходе топлива; основная масса дохода перерабатывающими компаниями такого уровня появляется не от переработки биогаза или же его сжатия, а от производства биологических удобрений.

Ключевые слова: биогаз, биогазовая установка, утилизация отходов, биореактор, метан, сероводород, углекислота, растительная биомасса.

Еще в 1776 году ученый Аллесандро Вольта сделал вывод о том, что существует взаимная зависимость между массой разлагающегося вещества и объемом выделяющегося газа, а позднее было обнаружено, что основным горючим компонентом, получаемым из биогаза, является метан.

Биогаз – продукт, который получается при разложении органических веществ. В процессе гниения, т. е. брожения, выделяются газы, собрав которые можно обеспечить нужды собственного хозяйства. С развитием микробиологии было выявлено, что выделение газа происходит из-за водородного и метанового брожения биомассы.

Основной способ применения биогаза – превращение его в источник тепловой, механической и электрической энергии. В процессе изучения биогаза начали появляться установки для его промышленного производства. Оборудование, в котором происходит данный процесс, называют «биогазовая установка». Первые экспериментальные установки для получения биогаза разрабатывались методом проб и ошибок, без истинного понимания происходящих в них процессов.

Крупные биогазовые установки можно использовать для создания производств по получению ценных химических продуктов для народного хозяйства.

На биогазе могут работать газосжигающие устройства, вырабатывающие энергию, которая используется для отопления, освещения, снабжения кормоприготовительных цехов, для работы водонагревателей, газовых плит, инфракрасных излучателей и двигателей внутреннего сгорания.

Первая документально подтвержденная биогазовая установка была построена в 1859 году в Индии, а в 1895 году впервые в Великобритании биогаз начал применяться в уличных фонарях освещения.

Современную биогазовая установка представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Современная биогазовая установка.

Современные исследования химиков открывают большие возможности использования метана для производства ценных химических продуктов на базе больших биогазовых установок.

Для того, чтобы использовать метан, биогаз необходимо подвергнуть переработке в многостадийном процессе биогазовой установки (рисунок 2) и удалить нежелательные соединения, к которым относятся влага, аммиак, углекислый газ, сероводород.

Примерный состав биогаза приведен на рисунке 3: метан – 60...70 %; углекислый газ – 26...36 %; другие газообразные вещества, в том числе и сероводород, придающий газу неприятный запах, аммиак и водород – 4 %.

Избежать большого количества вредных примесей можно путем подбора наиболее подходящего биологического вещества, из которого, собственно, и производится биогаз, но в любом случае очистка и обогащение полученного биогаза необходимы.

На сегодняшний день существует три основных способа очистки биогаза: метод жидкого (мокрого) и твердого (сухого) химического поглощения примесей (абсорбционный и адсорбционный), метод мембранного разделения и вымораживания (криогенный метод).

Проблема содержания влаги в биогазе более чем актуальна. Её удаление из биогаза совершается механическим путем, а также за счет снижения температуры. Биогаз пропускают по подземной

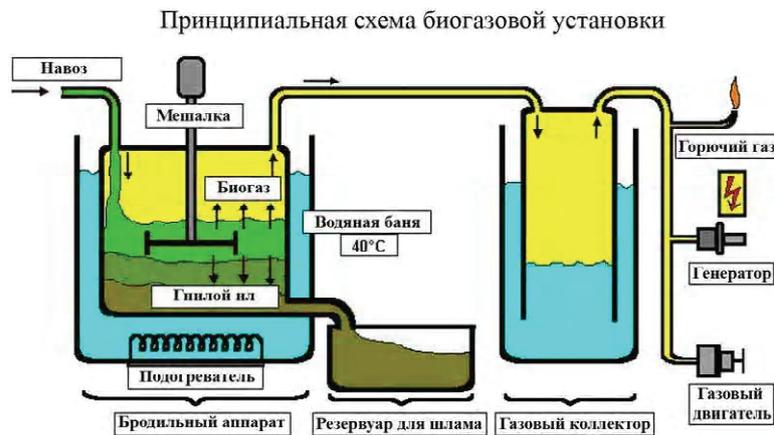


Рисунок 2 – Принципиальная схема биогазовой установки.

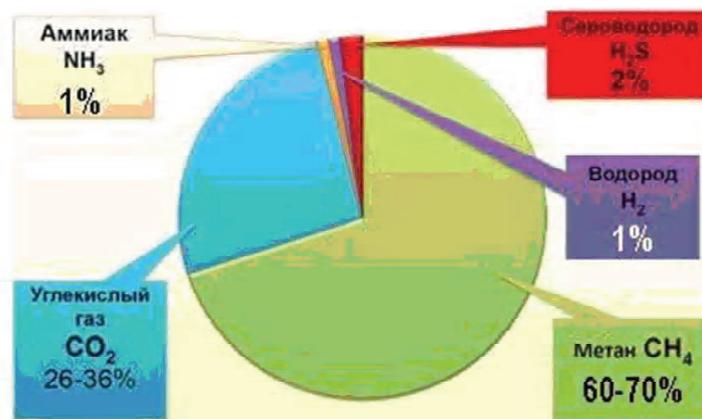


Рисунок 3 – Состав биогаза.

трубе, где влага конденсируется из-за уменьшения температуры. После этого газ по трубопроводу поднимают на поверхность, в процессе чего его температура повышается. Процесс извлечения лишней влаги из биогаза достаточно трудоемкий и сложный.

Наиболее вредным компонентом биогаза является сероводород, его содержание может достигать 3 %, очень токсичен, обладает неприятным запахом. Совместно с водяными парами, а особенно в комбинации с углекислым газом, вызывает коррозию металлических поверхностей газооборудования, именно по этой причине биогаз опасно использовать в двигателях и обогревателях взаимодействующих с водой. При сжигании биогаза сероводород переходит в оксиды серы, при этом они, взаимодействуя с водяным паром, образуют серную и сернистую кислоты, которые также являются коррозионно-активными.

Небольшие количества сероводорода удаляются физическими или химическими средствами, например очисткой напором воды (под высоким давлением), мембранными процессами, адсорбцией с колебаниями давления или аминовой очисткой.

Сущность метода промывки водой под давлением состоит в различном уровне растворимости углекислого газа и метана в воде. Но при способах очистки напором воды и адсорбции с колебаниями давления происходят относительно высокие потери метана, примерно 2...5 % от всего метана, содержащегося в биогазе, а также его дополнительное увлажнение.

Биогаз на выходе из реактора подвергается предварительной очистке от вынесенных капель воды, а затем последовательно сжимается. Некоторые из этих способов также удаляют воду или аммиак.

Эффективным поглотителем сероводорода является активированный уголь, однако очистку газов активными углями проводят при концентрации загрязнителя до 5 г/м³, а плотность используемых активных углей составляет 200...520 кг/м³. Схема отчистки газа представлена на рисунке 4.

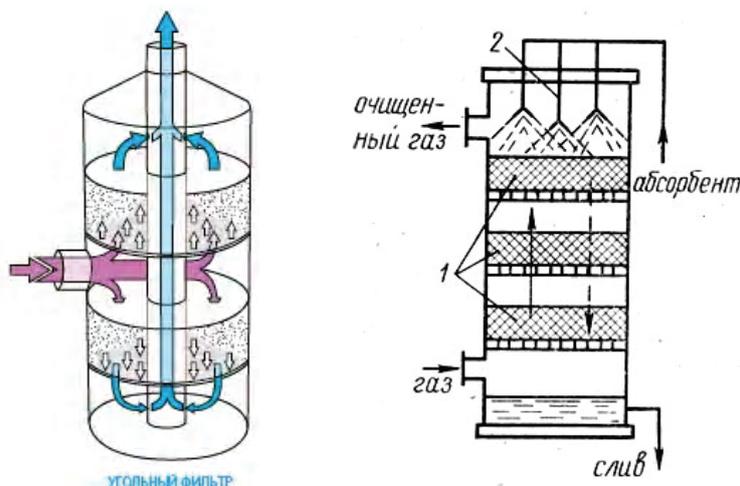


Рисунок 4 – Очистка газов активными углями.

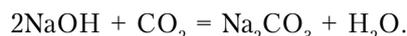
При адсорбции биогаз сначала проходит через специально обработанный активированный уголь, где сероводород окисляется до серы. Водяной пар, содержащийся в биогазе, адсорбируется на активированном угле, и перед следующим этапом очистки биогаза проводят осушку. Далее газ пропускают через очередную насадку с активированным углем, на которой адсорбируются галогенсодержащие углеводороды.

В биогазовых установках небольшой мощности применяют адсорбционный («сухой») способ удаления сероводорода, при больших расходах биогаза, с высоким содержанием сероводорода, очистку производят абсорбционным («мокрым») способом.

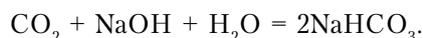
На сегодняшний день, самым экономически выгодным способом, позволяющим очистить биогаз от сероводорода, стала сухая очистка.

В отличие от удаления из биогаза сероводорода, углекислоту отделить не так легко и дешево. Считается, что ее можно отделить, впитав в известковое молоко. Но, как показывает практика, это может привести к появлению большого количества извести, что является негативным фактором.

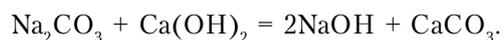
Щелочная очистка биогаза от углекислоты водным раствором едкого натрия (NaOH) основана на необратимой реакции:



Парциальное давление углекислого газа над раствором едкого натрия (NaOH), в процессе поглощения, равно нулю до тех пор, пока вся щёлочь не перейдет в карбонат. Поглощение углекислого газа раствором карбоната натрия протекает с образованием бикарбоната:



Удельная теплота растворения углекислого газа в растворах едких щелочей составляет 117 кДж/моль. Скорость абсорбции углекислого газа щелочью возрастает с повышением температуры. Регенерация отработанного раствора щелочи осуществляется известью:



Процесс проходит в жидкой фазе при 90...95 °С и её перемешивании. Установка регенерации щелочи известью является громоздкой, и процесс недостаточно удовлетворяет современным санитарно-гигиеническим требованиям. Водные растворы отработанного щелока пытаются использовать для вспомогательных процессов нейтрализации и сбрасывают в специальные системы химически загрязненных стоков. На очистку 1 000 м³ газа расходуется 0,15...1,60 кг 92%-ой каустической соды.

Но большинство из вышеназванных способов являются энергоемкими и приводят к значительным потерям метана.

В настоящее время мембранно-абсорбционный метод разделения биогаза представляется наиболее перспективным. Эта технология объединяет в себе достоинства абсорбционного и мембранного методов разделения. Также как в и классическом методе химического поглощения, углекислый газ

здесь «захватывается» жидким абсорбентом. Однако здесь нет непосредственного контакта фаз – жидкость и газ разделяет мембрана. Благодаря такой технологии не требуется повышать давление биогаза для подачи его на мембрану – газ поступает из биореактора самотёком под давлением чуть выше атмосферного.

Во время движения потока биогаза вдоль мембраны углекислый газ отводится через мембрану в подвижную жидкую фазу абсорбента, и концентрация «непроникающего» метана в биогазе резко возрастает. Мембранный модуль устроен как этажерка – жидкость/газ/жидкость/газ, – и собран в герметичный коллектор. Если поместить мембранную систему на выходе из биореактора, то углекислота будет отводиться, и этим можно добиться извлечения метана требуемой чистоты. Углекислый газ в дальнейшем удаляется сдувкой и подаётся по трубам в парники.

Такой комбинированный метод очистки биогаза позволяет избежать дополнительных затрат энергии на нагрев химического сорбента и охлаждение газовой смеси – при криогенном методе очистки, или на повышение давления биогаза – при мембранном методе очистки.

Важной проблемой технологии получения биогаза является утилизация отходов из биогазовой установки после процесса переработки сырья.

Данное производство, основанное на органических отходах, можно считать практически безотходным, так как все отходы, которые образуются в результате получения топлива, поступают обратно в производство. Их задачей является разбавление основного сырья для улучшения процесса измельчения и перемешивания. Отходы органической жидкости имеют температуру близкую к температуре биомассы, находящейся в биореакторе, и содержат штаммы метанобразующих бактерий. При их участии образуется большее количество метана и диоксида углерода.

Переработанные в биогазовых установках органические отходы превращаются в биомассу, которая содержит значительное количество питательных веществ и может быть использована в качестве биоудобрения и кормовых добавок, схема представлена на рисунке 5.

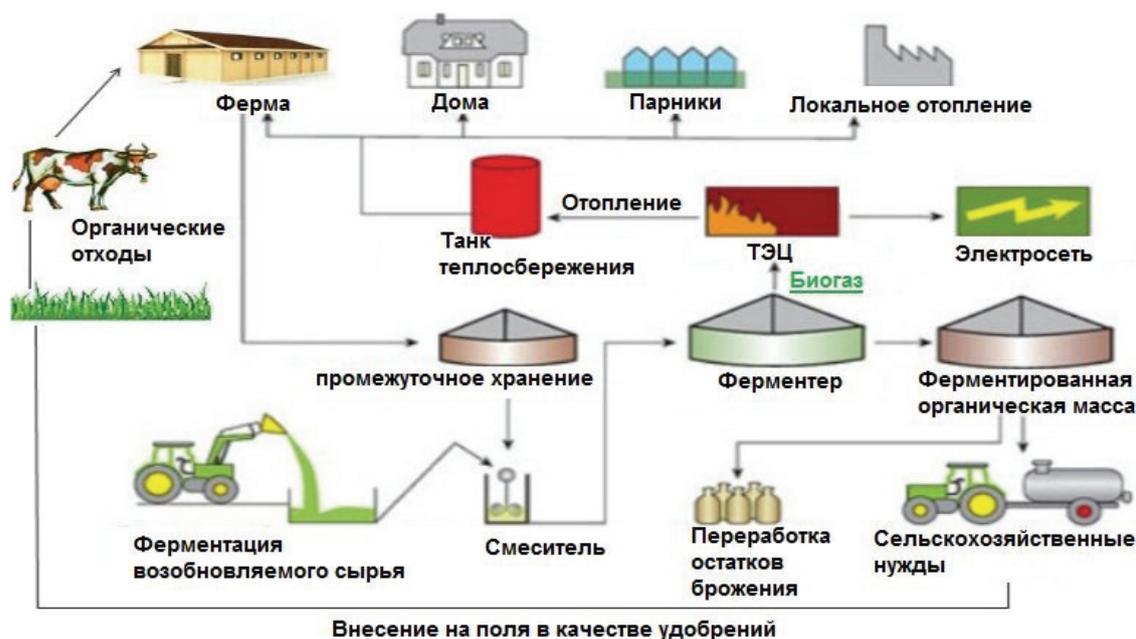


Рисунок 5 – Использование биогаза и отходов из биогазовой установки.

Образующиеся при сбраживании гумусные материалы улучшают физические свойства почвы, а минеральные вещества служат источником энергии и питанием для деятельности почвенных микроорганизмов, что способствует повышению усвоения питательных веществ растениями.

В ходе проведенных многочисленных экспериментов ученые выяснили, что навоз и птичий помет, взятые в качестве сырья для производства биогаза, подходят наилучшим образом.

ВЫВОДЫ

1. Технология производства биогаза предоставляет шанс дешевой утилизации органических отходов в биогазовых установках, позволяя частично сократить расходы и получить при этом газообразное топливо и качественные минерализованные азотные удобрения для сельского хозяйства.

2. Как показали аналитические исследования, мембранно-абсорбционный метод разделения и очистки биогаза является самым рациональным на сегодняшний день.

3. Рентабельность очистки газа до качества природного газа оправдывает себя лишь при большом расходе топлива. Установлено, что система очистки оправдывает себя для установок, производящих газ от 250 м³/час.

4. Важно отметить, что основная масса дохода перерабатывающими компаниями такого уровня появляется не от переработки биогаза или же его сжатия, а от производства биологических удобрений.

5. Предварительные расчеты показывают, что из 1 тонны растительной биомассы, смешанной с отходами, можно получить 350 м³ газообразного топлива (метан, водород) с энергоемкостью 8 786 МДж, 430 л жидкого топлива с энергоемкостью 12 887 МДж и твердое топливо, эквивалентное 834 МДж энергии. Таким образом, из 1 тонны такого сырья можно получить 0,1...0,4 тонны у.т. (условного топлива), а также 0,8...0,9 тонны обеззараженных удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северилов, П. В. Книга для начинающих о биогазовых установках и технологиях [Электронный ресурс] / П. В. Северилов // Самиздат, 2012. – 4 марта. – Режим доступа : http://samlib.ru/s/sewerilow_p_w/biogas_for_dummies.shtml.
2. Получение биогаза. Основные теории [Электронный ресурс] // Информационный ресурс. Альтернативное электричество. – [Б. м. : infoelectrik.ru], 2015. – Режим доступа : <http://infoelectrik.ru/alternativnoe-elektrichestvo/poluchenie-biogaza-osnovy.html>.
3. Гюнтер, Лотар Способ и система очистки биогаза для извлечения метана [Электронный ресурс] / Лотар Гюнтер. – [Б. м. : findpatent.RU], [2012–2017]. – Режим доступа : <http://www.findpatent.ru/patent/249/2495706.html>.
4. Полетаева, М. А. Пути решения проблемы очистки сточных вод молочного предприятия [Текст] / М. А. Полетаева, О. С. Осадчая, Н. А. Рузаева // Ползуновский вестник. – № 1, 2013. – С. 273–275.
5. Полищук И. И. Водопользование на предприятиях пищевой промышленности [Текст] / И. И. Полищук. – М. : Агропромиздат, 1989. – 100 с.
6. Маркова, В. А. Использование биогаза для получения электроэнергии в агропромышленных комплексах [Текст] / В. А. Маркова, С. Н. Деревянин, С. П. Шимченко // Грузовик. – № 3. – 2014. – С. 41–48.
7. Пат. 2460575. Российская Федерация, МКП В01D53/62. Способы разделения биогаза и очистка его составляющих [Текст] / Б. А. Кривой, А. В. Луканин, Т. В. Тахтарова ; патентообладатель ООО Научно-производственное предприятие «Экология мегаполиса». – № 2011110159/05; заявл. 18.03.2011 ; опубл. 10.09.2012 ; Бюл. № 25. – 8 с.
8. Веденеев, А. Г. Использование продуктов применения биогазовых технологий [Электронный ресурс] / А. Г. Веденеев, Т. А. Веденева // Альтернативные источники энергии. Энциклопедия радиоэлектроники и электротехники. – [2015]. – Режим доступа : <http://www.diagram.com.ua/list/alter-energy/alter-energy036.shtml>.
9. Лаврухина, О. С. Стимуляторы выработки биогаза [Электронный ресурс] / О. С. Лаврухина // Современные научные исследования и инновации. – № 5. – 2012. – Режим доступа : <http://web.snauka.ru/issues/2012/05/13035>.

Получено 11.10.2017

С. І. МОНАХ, Л. Ю. ПАНЧЕНКО, А. І. ЦХВЕДІАНИ СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ І ЗБАГАЧЕННЯ ГАЗУ, ОТРИМАНОВОГО В БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглянуто питання про способи очищення метану, отриманого з біогазу, від шкідливих домішок. Відомо, що на сьогодні існує три основних способи очищення біогазу: метод рідкого (мокрого) і твердого (сухого) хімічного поглинання домішок (абсорбційний і адсорбційний), метод мембранного поділу і виморожування (вакуумний метод). Видалення вологи з біогазу відбувається механічним шляхом, а також за рахунок зниження температури. Невелика кількість сірководню видаляється фізичними або хімічними засобами. Ефективним поглиначем сірководню є активоване вугілля. З'ясовано, що на сьогодні найбільш економічно вигідним способом, що дозволяє очистити біогаз від сірководню, стало сухе очищення. Визначено, що існує ще один комбінований метод (мембранно-абсорбційний) поділу біогазу, який дозволяє уникнути додаткових витрат енергії на нагрів хімічного сорбенту і охолодження газової суміші – при криогенному методі очищення, або на підвищення

тиску біогазу – при мембранному методі очищення. Також встановлено, що після процесу переробки біогазу можлива утилізація відходів з біогазової установки. Зроблено висновки, що мембранно-абсорбційний метод розділення і очищення біогазу є найбільш раціональним на сьогодні; рентабельність очищення газу до якості природного газу виправдовує себе лише при великій витраті палива; основна маса доходу переробними компаніями такого рівня надходить не від переробки біогазу або ж його стиснення, а від виробництва біологічних добрив.

Ключові слова: біогаз, біогазова установка, утилізація відходів, біореактор, метан, сірководень, вуглекислота, рослинна біомаса.

SVETLANA MONAKH, LYUDMILA PANCHENKO, ALEXANDRA TSKHVEDIANI METHODS FOR CLEANING AND ENRICHING THE GAS OBTAINED IN A BIOGAS PLANT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article has considered the issue of how to purify methane, derived from biogas, from harmful impurities. It has been known that today there are three main ways of cleaning biogas: the method of liquid (wet) and solid (dry) chemical absorption of impurities (absorption and adsorption), the method of membrane separation and freezing (cryogenic method). The removal of moisture from biogas is accomplished mechanically, and also due to a decrease in temperature. A small amount of hydrogen sulphide is removed by physical or chemical means. An effective absorber of hydrogen sulphide is activated carbon. It has been found out that for today the most economical method, allowing cleaning biogas from hydrogen sulphide, was dry cleaning. It has been determined that there is another combined method (membrane-absorption) of biogas separation, which allows to avoid additional energy costs for heating the chemical sorbent and cooling the gas mixture – with the cryogenic method of cleaning, or for increasing the biogas pressure – with the membrane cleaning method. It has been also established that after the process of processing biogas it is possible to utilize waste from a biogas plant. It has been concluded that the membrane-absorption method of separation and purification of biogas is the most rational for today; the profitability of gas cleaning to the quality of natural gas justifies itself only with a high fuel consumption; the bulk of income by processing companies of this level does not arise from the processing of biogas or its compression, but from the production of biological fertilizers.

Key words: biogas, biogas plant, waste utilization, bioreactor, methane, hydrogen sulphide, carbonic acid, plant biomass.

Монах Светлана Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: процессы тепломассообмена в теплотехнических установках.

Панченко Людмила Юрьевна – бакалавр кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: тепломассообмен, котельные установки, газоснабжение, теплоснабжение.

Цхведиани Александра Игоревна – бакалавр кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: тепломассообмен, котельные установки.

Монах Світлана Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: процеси тепломасообміну в теплотехнічних установках.

Панченко Людмила Юрїївна – бакалавр кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: тепломасообмін, котельні установки, газопостачання, теплостачання.

Цхведіані Олександра Ігорівна – бакалавр кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: тепломасообмін, котельні установки.

Monakh Svetlana – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processes of heat and mass transfer in heat engineering installations.

Panchenko Lyudmila – bachelor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat and mass exchange, boiler plants, gas supply, heat supply.

Tshvediani Alexandra – bachelor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat and mass exchange, boiler plants.