

**Исследование процесса очистки биогаза в комплексном биотепловом устройстве,
полученного из биомассы (навозный субстрат)**

Раис Маджнун оглы Расулов

Азербайджанский государственный аграрный университет, г. Гянджа, Республика Азербайджан
e-mail: parvin1985@mail.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследования процесса очистки биогаза, полученного из биомассы (навозный субстрат) от углекислого газа и других вредных примесей, с применением группы кристаллических алюмосиликатов, называемых цеолитами. Процесс очистки производили непосредственно в экспериментальном комплексном устройстве. Построенная по результатам экспериментальных исследований номограмма влияния уровня очистки биогаза цеолитом на его состав и качество показала, что сокращение интенсивности смены адсорбента (цеолита) в очистном сооружении от 7 до 1 сут. повышает степень очистки от 25 до 75 %, снижая количество вредных компонентов в составе биогаза от 33 до 12 %, а также повышает долю полезного составляющего биогаза (метанового газа) от 65 до 86 %, увеличив при этом calorific value сгорания от 23 до 31 МДж.

Ключевые слова: биогаз; метантенк; биомасса; цеолит; метановый газ; углекислый газ.

Для цитирования: Расулов Р.М.о. Исследование процесса очистки биогаза в комплексном биотепловом устройстве, полученного из биомассы (навозный субстрат) // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 103–106. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp103-106>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Study of the process of biogas cleaning in the complex bioheat device
obtained from biomass (manure substrate)**

Rais M.o. Rasulov

Azerbaijan State Agrarian University, Ganja, Republic of Azerbaijan
e-mail: parvin1985@mail.ru

Abstract. This article presents the results of a study of the process of cleaning biogas obtained from biomass (dung substrate) from carbon dioxide and other harmful impurities, using a group of crystalline aluminosilicates called zeolites. The cleaning process was carried out directly in an experimental complex device. The nomogram constructed based on the results of experimental studies, the effect of the level of biogas purification with zeolite on its composition and quality, showed that reducing the intensity of the change of the adsorbent (zeolite) in the treatment plant from 7 to 1 day, increases the degree of purification from 25 to 75 %, reducing the amount of harmful components in the composition of biogas from 33 to 12 %, and also increases the share of the useful component of biogas (methane gas) from 65 to 86 %, while increasing the calorific value of combustion from 23 to 31 mJ.

Keywords: biogas; digester; biomass; zeolite; methane gas; carbon dioxide.

For citation: Rasulov R. M.o. Study of the process of biogas cleaning in the complex bioheat device obtained from biomass (manure substrate) // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(8):103–106. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp103-106>.

Введение. Удовлетворение потребностей населения в энергии за счет альтернативных и возобновляемых источников энергии в целях замены углеводородов как традиционного источника энергии и предотвращения загрязнения окружающей среды вызванного их сжиганием, стало одной из самых актуальных проблем современности. В современном мире накоплен значительный мировой опыт в этой области, и в настоящее время экологически чистые альтернативные и возобновляемые источники энергии широко используются в США, Канаде, Германии, Финляндии, Хорватии, Дании, Испании, Японии и Китае. Одним из таких экологически чистых альтернативных и возобновляемых источников энергии являются отходы животноводства в виде биомассы, такие как навозный субстрат.

Однако опыт использования энергии биомассы в странах Латинской Америки и Европы показывает, что оно бывает эффективным только при определенных условиях [1–4]. Капитальные и текущие затраты, вложенные на создаваемые для этого объекты, обременительны, а потому бывают малоэффективны в малых и средних хозяйствах. Кроме того, получаемые из биомассы на таких установках около 45 % биогаза составляют вредные компоненты, а их традиционная переработка в малых и средних хозяйствах бывает небезопасной и экономически нецелесообразной [5]. Поэтому совершенствование технологии использования альтернативных и возобновляемых источников энергии, таких как отходы животноводства в виде биомассы (навозный субстрат) является одной из актуальных задач.

Цель исследования – изучение возможности переработки биогаза, производимого в комплексном устройстве, созданном с целью совершенствования технологии совместного использования альтернативных энергоресурсов для малых и средних фермерских хозяйств, более дешевым способом и с использованием местного сырья.

Методика исследований. Методология исследования отличается от большинства исследований тем, что в данном случае нельзя ограничиваться малогабаритными экспериментальными установками и какими-либо лабораторными испытаниями в особых условиях. По этой причине исследование процесса очистки биогаза, полученного из биомассы (навозный субстрат), производили непосредственно на комплексном устройстве, созданном для малых и средних





фермерских хозяйств. В качестве объекта исследования были взяты энерго- и ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии и технические средства: очистка биогаза от углекислого газа и других вредных примесей с применением группы кристаллических алюмосиликатов – цеолитов. Данный минерал адсорбирует вредные компоненты по принципу адсорбции и при прохождении биогаза через ее слои, оно удерживает вредные компоненты как молекулярное сито. После такой обработки биогаз поступает в газгольдер и резервируется для дальнейшего его использования.

Для осуществления данного процесса установка очистки биогаза (рис. 1) была оборудована несколькими слоями сетчатых перегородок 3, на которых были размещены по 3–4 слоя измельченных минералов цеолита 5. Диаметр отверстий сетчатых перегородок составлял 2,0–2,5 мм., а средний диаметр цеолитовых минералов, размещенных на этих перегородках, 3,0–3,5 мм. Биогаз 12, полученный в метантенке, подается в установку из нижней части через газовую трубу 2, проходя через слои цеолита 5 на всех перегородках, поступает в газгольдер в виде очищенного газа 11 через выходную трубу 8, расположенную в верхней части установки. В процессе очистки вредные компоненты, такие как углекислый и сероводородный газ поглощаются цеолитными минералами.

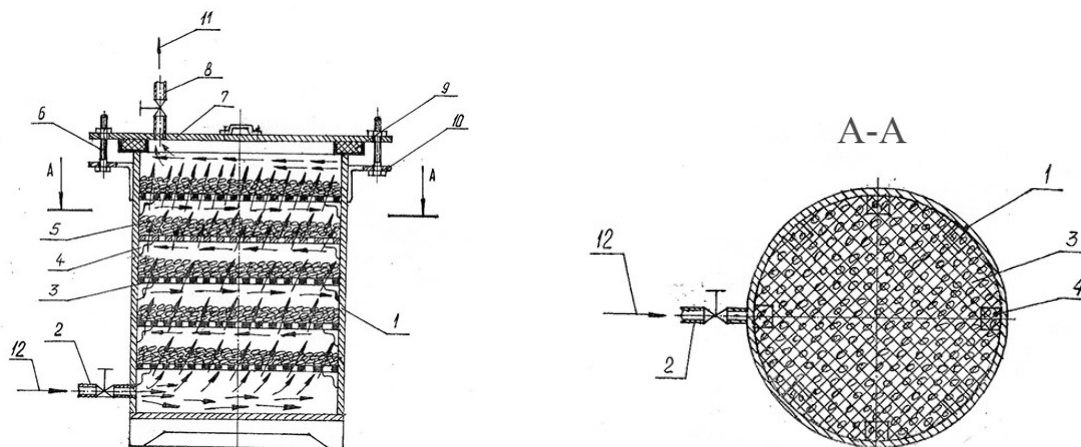


Рис. 1. Устройство очистки биогаза: 1 – корпус устройства; 2, 8 – газовые трубы; 3 – сетчатая перегородка; 4 – перегородки; 5 – цеолитовые минералы; 6 – разъем; 7 – крышка; 9 – уплотнитель; 10 – соединительные опоры; 11 – чистый газ; 12 – смешанный газ

Результаты исследований. Степень очистки вредных газов в биогазе определяли заменой цеолита в течение недели. Как видно из графика (см. рис. 2), самый высокий уровень очистки биогаза от углекислого газа был установлен при ежедневной смене цеолитов, при котором ее состав очистился до 70–80 %, степень очистки уменьшилась до 20–30 %, когда замена цеолита в неделю составляла 1–2 дня.

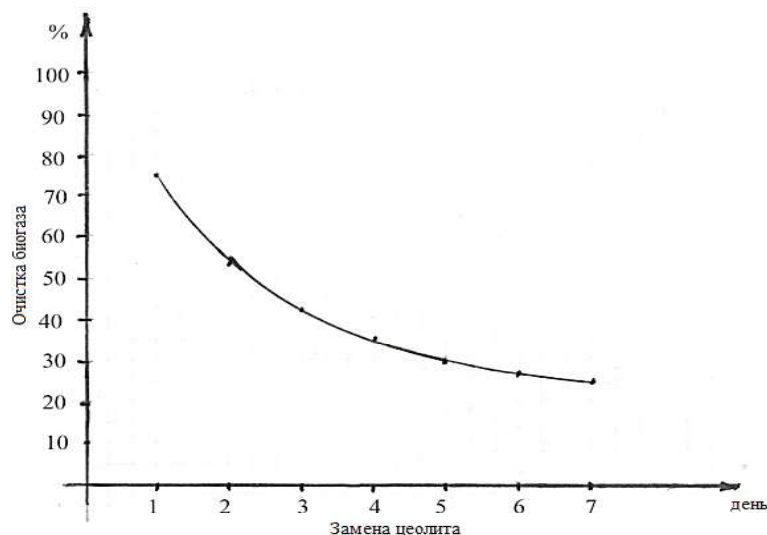


Рис. 2. Изменение уровня очистки биогаза от углекислого газа

Очистка биогаза на очистительной установке (см. рис. 1) с применением цеолитных минералов привела к изменению в нем пропорций метанового и углекислого газа, которое происходило обратно пропорционально. Так, при повышении уровня очистки биогаза от 25 до 80 %, по мере снижения уровня углекислого газа от 33 до 12 %, состав метанового газа, основного компонента способствующего сгоранию биогаза, увеличился от 65 до 86 % (рис. 3). Таким образом, в процессе очистки биогаза уровень углекислого газа уменьшается почти в три раза, а качества его сгорания повышается более чем на 30 %.

Для исследования вопроса повышения качества сгорания биогаза было изучено влияние процесса очистки биогаза на его теплотворную способность, калорийность сгорания (рис. 4). Как видно из графика (см. рис. 4), повышение уровня очистки биогаза от 25 до 75 % приводит к возрастанию калорийности сгорания с 23 до 31 мДж, т. е. калорийность сгорания увеличивается примерно на 35 %, что повышает качество биогаза.

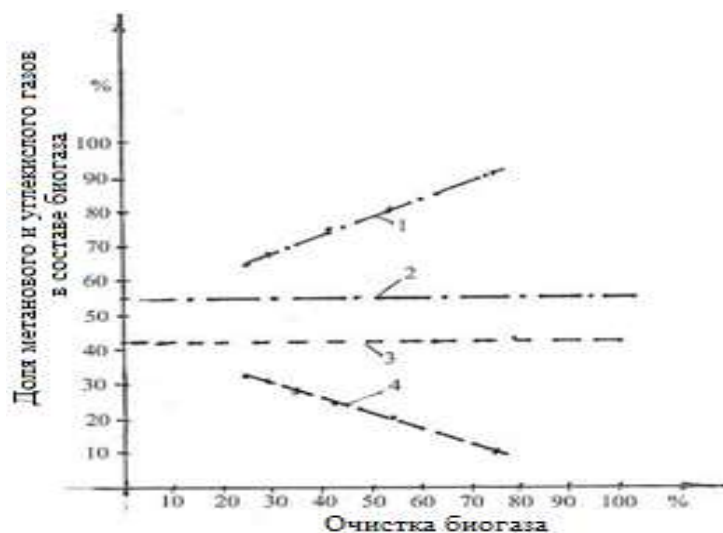


Рис. 3. Влияние обработки биогаза на его основные компоненты: доля метанового газа: 1 – изменяется по мере очистки биогаза; 2 – в неочищенном биогазе; доля углекислого газа: 3 – в неочищенном биогазе; 4 – изменяется по мере очистки биогаза

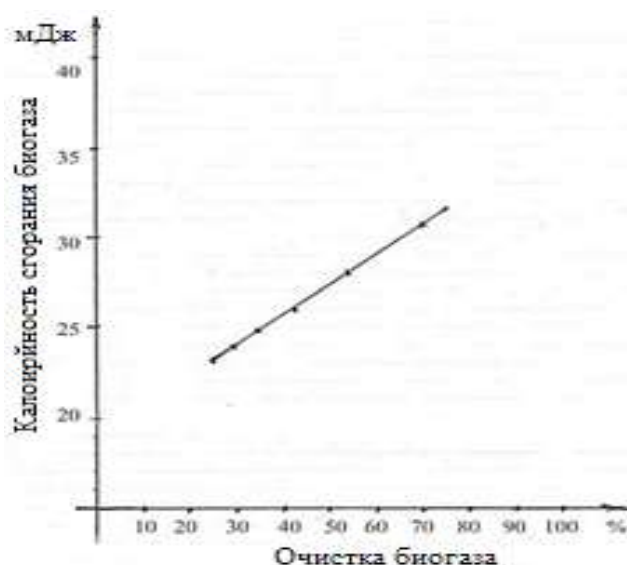


Рис. 4. Влияние очистки биогаза на ее калорийность сгорания

Учитывая влияние интенсивности смены цеолита в очистных сооружениях на качество биогаза, рекомендуется менять его не реже 2–3 раз в неделю. Цеолит, используемый в очистных сооружениях, можно использовать повторно, если его регенерировать на жарком солнце в летние месяцы.

По результатам исследования нами была составлена номограмма процесса очистки биогаза цеолитом (рис. 5).

Для построения такой номограммы в системе координат, отложив по нижней вертикальной оси значения интенсивности смены цеолита, а на правой оси абсцисс значения уровня очистки биогаза, получим график зависимости уровня очистки биогаза от интенсивности смены цеолита (рис. 5, а).

С учетом значений уровня очистки биогаза, расположенных на правой горизонтальной оси, по верхней вертикальной оси размещая значения долей полезных и вредных компонентов биогаза, получаем график их изменения в зависимости от уровня очистки биогаза (рис. 5, б, в).

Используя значения изменения полезного компонента биогаза, газообразного метана, по верхней вертикальной оси и размещая значения калорийности сгорания биогаза по левой горизонтальной оси, получим график изменения калорийности сжигания биогаза в зависимости от доли газообразного метана (рис. 5, г).

Таким образом, получаем номограмму влияния уровня очистки биогаза цеолитом на его состав и качество (см. рис. 5).

Для определения влияния замены цеолита в очистном сооружении на качество и состав биогаза, по вертикальной оси откладывая интенсивность этого изменения (например, один раз в сутки), проводим от этой точки горизонтальную линию до пересечения графика определяющего уровень очистки биогаза (а), затем от данной точки пересечения проводим вертикальную линию, перпендикулярно горизонтальной оси уровня очистки биогаза и определив уровень очистки биогаза (75 %), продолжаем проводить данную линию до пересечения графика определяющего вредные компоненты биогаза (б) и графика, определяющего полезные компоненты биогаза (в), затем от этих точек пересечения, проводя горизонтальные линии до вертикальной оси со значениями вредных и полезных компонентов, определяем их содержание в биогазе, которое составляет для вредных компонентов 12 %, а для полезных компонентов 86 %.



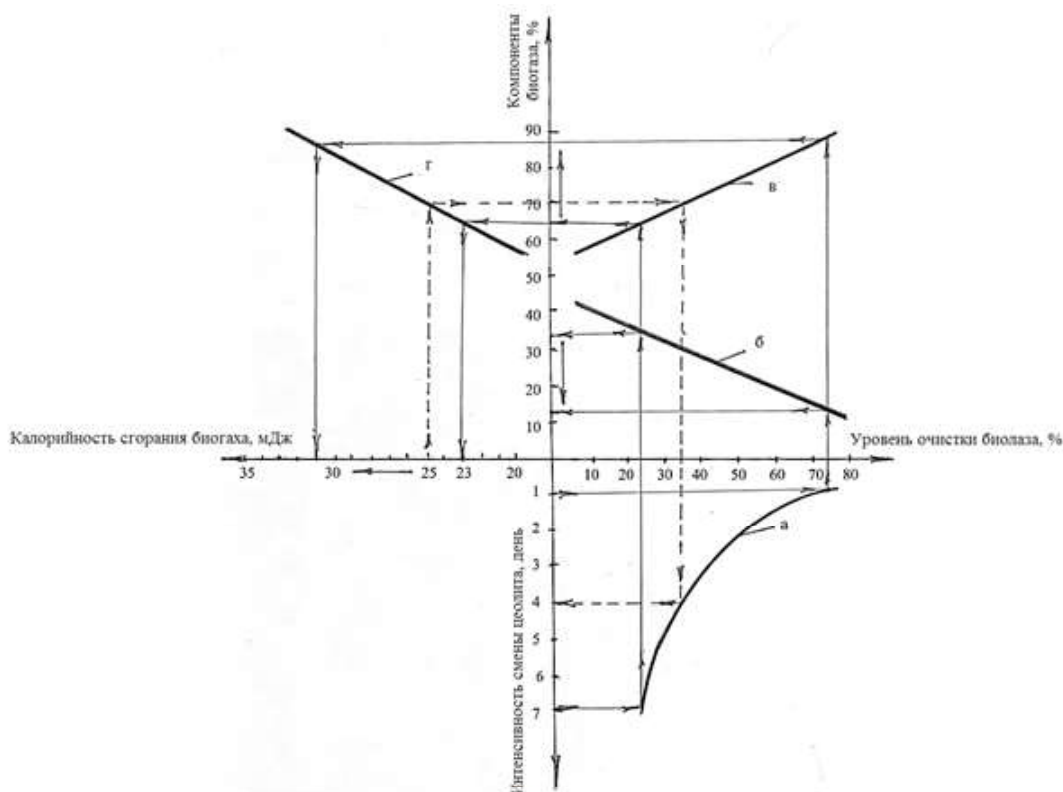


Рис. 5. Номограмма влияния обработки цеолитом на состав и качество биогаза:
а – зависимость, определяющая степень очистки биогаза; б – зависимость, определяющая вредные компоненты биогаза; в – зависимость, определяющая полезные компоненты биогаза;
г – зависимость, определяющая калорийность сгорания биогаза

Для определения влияния на теплотворную способность (калорийность сгорания) биогаза увеличение полезного компонента до 86 % проводим из данной точки, перпендикулярно вертикальной оси, горизонтальную линию до точки пересечения с графиком (г), и от этой точки проводим перпендикулярно к горизонтальной оси линию, определив при этом калорийность сгорания очищенного биогаза, которая равна 31 мДж.

Закключение. Построенная по результатам экспериментальных исследований номограмма влияния уровня очистки биогаза цеолитом на его состав и качество показала, что сокращение интенсивности смены адсорбента (цеолита) в очистном сооружении от 7 до 1 сут. повышает степень очистки от 25 до 75 %, снижая количество вредных компонентов в составе биогаза от 33 до 12 %, повышает долю полезного составляющего биогаза (метанового газа) от 65 до 86 %, увеличив при этом калорийность сгорания от 23 до 31 мДж. Следуя этой номограмме, можно определить степень очистки биогаза по требуемой калорийности сгорания и интенсивность смены цеолита на очистных сооружениях. Применение местного цеолита для очистки газа биогаза в специальном газоочистительном устройстве приводит к снижению затрат и повышению экономической эффективности очистки биогаза в местных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко В. В., Терешин Г. Мировая энергетика и глобальный климат в XXI веке в контексте исторических тенденций // Теплоэнергетика. 2005. № 4. С. 3–7.
2. Ковалев, А. А. Эффективность производства биогаза на животноводческих фермах // Техника в сельском хозяйстве. 2001. № 3. С. 30–33.
3. Dohne E. Entwicklungen beim Bau von Biogasanlagen // DLZ–landtechn. Z., 1980, Bd. 31, No. 2. P. 242–248.
4. Stauss, W. Der heutige Stand der Biogasgewinnung aus landwirtschaftlichen organischen Stoffen // Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klarschlanun und Mist, Verlag_R. Oldenbourg, Munchen, 1956, p. 216–251.
5. Bonfig, R. Biogasanlage mit Warmetauscher // DLZ–landtechn. Z., 1980, Bd 31, No. 5. P. 728–732.

REFERENCES

1. Klimenko V.V., Tereshin G. World energy and global climate in the 21st century in the context of historical trends. *Heat energy*. 2005; 4: p. 3–7.
2. Kovalev A. A. Efficiency of biogas production on livestock farms. *Technique in agriculture*. 2001; 3: 30–33.
3. Dohne, E. Entwicklungen beim Bau von Biogasanlagen. *DLZ – landtechn.* 1980; 31; 2: 242–248.
4. Stauss W. Der heutige Stand der Biogasgewinnung aus landwirtschaftlichen organischen Stoffen. *Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klarschlanun und Mist*. Oldenbourg and Munchen, 1956: 216–251.
5. Bonfig, R. Biogasanlage mit Warmetauscher *DLZ – landtechn.* 1980; 31; 5: 728–732.

Статья поступила в редакцию 26.04.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022; принята к публикации 30.05.2022.
The article was submitted 26.04.2022; approved after reviewing 23.05.2022; accepted for publication 30.05.2022.

