

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЛЮЕНТА БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Караева Юлия Викторовна¹, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории энергетических систем и технологий

Тимофеева Светлана Сергеевна¹, кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории энергетических систем и технологий

Гильфанов Марат Фанильевич², инженер лаборатории комплексной переработки биомассы в топливо, материалы и химические продукты

¹Институт энергетики и перспективных технологий – структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук»

²ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет

¹420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, д.2/31,

тел. 8(843)231-90-79; e-mail: julieenergy@list.ru

²420015, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68,

тел. 8(843)231-89-37; e-mail: zaex@mail.ru

Ключевые слова: эффлюент, биомасса, *Amaranthus retroflexus* L., органические удобрения, композиционное топливо.

В результате работы биогазовой установки образуется много шлама (эффлюента), который можно использовать в различных целях. В данной статье рассматривается возможность применения твердой фракции эффлюента в качестве органического удобрения, а также топлива для получения тепловой энергии. Исследованный эффлюент был получен после анаэробного сбраживания коровьего навоза и биомассы растения *Amaranthus retroflexus* L. Кроме того рассматривались смеси эффлюента с остатками растительной биомассы. Они представляют собой смесь из семян, стеблей и листьев в соотношении 1:1,1:1,6. Исследовалось пять образцов: 100% эффлюент; 75% эффлюента и 25% биомассы; 50% эффлюента и 50% биомассы; 25% эффлюента и 75% биомассы; 100% растительная биомасса. Содержание питательных веществ (общего азота, фосфора, калия) в образцах значительно превышает показатели, рекомендованные ГОСТ 33380-2015. Установлено, что исследуемые образцы имеют высокие концентрации меди и цинка. Исследованный эффлюент не может применяться в чистом виде в качестве удобрения, но его целесообразно смешивать с другими компонентами, характеризующимися «бедным» минеральным составом, например, торфом. Для производства добавки к почве целесообразно весовое соотношение сухого сырья эффлюента к низинному торфу, составляющее 1:5. Низшая теплота сгорания эффлюента в смеси с растительной биомассой составила от 12,4 МДж/кг до 14,1 МДж/кг. Для сжигания наиболее эффективно использовать эффлюент в чистом виде и композиционное топливо, состоящее из 75% эффлюента и 25% биомассы растения *Amaranthus retroflexus* L. Высокие показатели зольности исследованных образцов обусловлены повышенным содержанием оксидов CaO и SiO₂.

Введение

Работа биогазовой установки приводит к образованию большого количества эффлюента. Материальный баланс показывает, что только 3% биомассы преобразуется в биогаз, остальные 97% это отработанный шлам. Очень широкое распространение получило его использование в качестве органического удобрения [1]. В работе [2] отмечается, что более полное усвоение питательных веществ растениями из навоза возможно только после процесса метанового сбраживания.

Использование эффлюента может заменить или, по крайней мере, сократить использование минеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур [3]. Органический материал в почве важен не только как источник питательных веществ для растений, но и для улучшения пористости и структуры почвы,

а также ее способности удерживать воду и питательные вещества.

Хотя использование шлама биогазовой установки в качестве органического удобрения представляется эффективным способом сохранения круговорота питательных веществ в сельском хозяйстве и сокращения внешних поступлений минеральных удобрений, необходимо рассмотреть ряд недостатков эффлюента [4]:

- высокая влажность (более 90%), это ограничивает их способность к хранению, транспортировке;

- состав может варьироваться из-за различий в подаче субстрата в биогазовую установку, а также в зависимости от времени года, рациона животных и т.п.;

- высокое содержание растворимого азота NH₄-N увеличивает вероятность потери газообразного азота при хранении.



Рис. 1 - Лабораторная биогазовая установка

Эффлюент может использоваться в качестве источника питательных веществ на предприятиях по производству микроводорослей [5, 6], а также полезных химических веществ и продуктов, например: биосурфактантов [7, 8], биопестицидов [6, 9], биопластиков [10, 11] и ферментов [12, 13].

Возможно также использование эффлюента в энергетических целях [14]. Например, в работе [15] остаток после анаэробного сбраживания использовался в процессе пиролиза с целью получения фенола. В исследовании [16] твердая фракция эффлюента использовалась как для пиролиза, так и для газификации. Возможность сочетания анаэробного сбраживания свиного навоза и пиролиза полученного эффлюента с биомассой расторопши (*Silybum marianum*) представлена в работе [17].

Целью исследования являлось определение возможностей применения эффлюента биогазовой установки после завершения процесса метаногенеза как органического удобрения и в

энергетических целях для сжигания.

Материалы и методы исследований

В качестве основного субстрата в экспериментах применялся эффлюент лабораторной биогазовой установки (рис. 1). Он был получен после анаэробного сбраживания коровьего навоза и биомассы растения *Amaranthus retroflexus L.* (AR). В метаногенезе применялись только листья и стебли растения. Установка работала в мезофильном режиме. Полученный эффлюент был высушен при температуре 105°C в течение 12-24 часов. Затем он был механически измельчен до порошкообразного состояния.

Растения *Amaranthus retroflexus L.* были собраны на поле в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан (Россия) в 2019 году.

Остатки AR (рис. 2), представляющие собой смесь из семян, стеблей и листьев в соотношении 1:1,1:1,6, были добавлены к эффлюенту.

Исследовалось пять образцов: №1 (100% эффлюент); №2 (75% эффлюент и 25% AR); №3 (50% эффлюент и 50% AR); №4 (25% эффлюент и 75% AR); №5 (100% AR). Зольность определялась по ГОСТ Р 56881-2016.

Для проведения элементного анализа использовался анализатор серии EA 3000 («EuroVector», Италия). Условия анализа: температура колонки 115°C, температура печи 850°C. Результаты представлены в таблице 1.

Теплотворная способность твердых образцов определялась на калориметре С 200 («IKA», Германия).

Исследование содержания макро- и микроэлементов проводилось на энергодиспер-

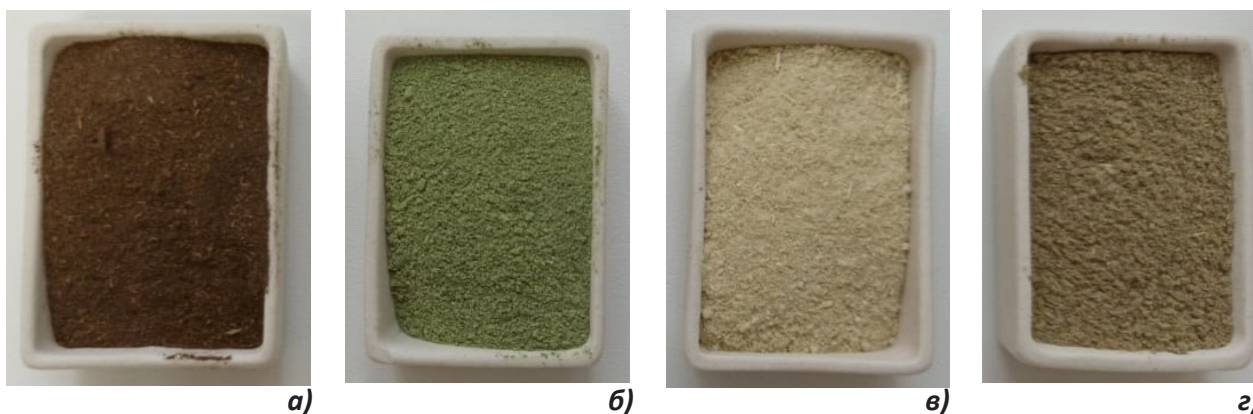


Рис. 2 - Фотографии образцов: а) эффлюент; б) листья; в) стебли; г) семена

сионном флуоресцентном рентгеновском спектрометре EDX-800HS2 («Shimadzu», Япония) полуколичественным методом. Условия измерений: трубка: Rh-анод (мощность 50 ватт); напряжение: 50 кВ, 15 кВ; ток: 100 мкА; атмосфера – гелий; измеряемый диаметр: 5 мм; время измерения: 100 сек. Измерения образцов проводились в диапазонах Ti-U (0.00-40.00 кэВ), Na-Sc (0.00-4.40 кэВ), S-K (2.1-3.4 кэВ). Результаты представлены в таблице 2.

Результаты исследований

В комплексной биогазовой технологии получаемый шлам после анаэробного сбраживания делая на жидкую и твердую фракции. Жидкая составляющая может быть возвращена в реактор и использована в качестве оборотной воды с целью увеличения влажности подаваемого субстрата. Кроме того, жидкая составляющая может быть использована в качестве удобрения для орошения полей. В свою очередь, твердую фракцию можно непосредственно вносить в почву, компостировать или использовать для производства гранулированных удобрений или композиционных топлив [18].

Рассмотрим возможность применения эффлюента (твердая фракция, образец №1) в качестве органического удобрения. В настоящее время на территории России действует межгосударственный стандарт ГОСТ 33380-2015. В нем описаны основные показатели безопасности, которым должен соответствовать эффлюент. В таблице 3 представлены массовые доли общего азота, фосфора и калия, а также указаны значения, соответствующие ГОСТ.

Массовые доли питательных веществ в эффлюенте высоки и превышают значения, рекомендованные ГОСТ. Полученный шлам от биогазовой установки не содержал таких токсичных элементов как: свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, никель. Однако он включал в себя цинк и медь в концентрациях, превышающих предельно допустимые (табл. 2).

Следует отметить, что для навоза, применяемого в качестве удобрения, действует ГОСТ Р 53117-2008. Требования к нему менее строгие. Предельная массовая концентрация примесей тяжелых металлов указана только для свинца, кадмия, ртути и мышьяка.

В каждом государстве используется свой стандарт для оценки эффлюента как органического удобрения. В таблице 4 представлены различные технические условия, а также указана возможность применения получаемого нами продукта в качестве удобрений для экспорта.

Таблица 1

Элементный состав исследуемых образцов

№	C, %	H, %	N, %	Влажность, %	Зольность, %
1	35,57	4,36	1,80	6,35	25,96
2	37,42	4,35	1,85	6,33	26,40
3	37,44	4,72	1,97	6,42	22,76
4	38,23	4,84	2,17	7,90	18,02
5	39,19	5,18	2,36	7,08	21,3

Таблица 2

Содержание макро- и микроэлементов в образцах, %

Элементы	№1	№2	№3	№4	№5
Кальций	43,229	42,940	46,141	48,154	47,495
Кремний	18,194	14,838	12,009	7,763	0,514
Калий	17,302	22,022	24,458	28,610	39,517
Хлор	4,508	4,363	3,385	2,740	2,106
Фосфор	4,398	4,124	3,478	3,121	2,364
Магний	3,660	3,380	3,720	3,826	3,510
Железо	3,568	3,478	2,317	1,529	0,614
Сера	2,766	2,809	2,675	2,898	2,908
Алюминий	1,311	0,986	1,041	0,720	-
Титан	0,427	0,464	0,291	0,230	-
Марганец	0,268	0,315	0,230	0,213	0,235
Цинк	0,143	0,137	0,091	0,064	0,081
Стронций	0,100	0,089	0,057	0,039	0,047
Медь	0,059	-	0,053	0,061	0,084
Цирконий	0,037	-	-	-	-
Бром	0,031	0,028	0,053	0,031	0,075

Таблица 3

Массовая доля питательных веществ в эффлюенте

	N, %	P ₂ O ₅ , %	K ₂ O, %	Zn, мг/кг СВ	Cu, мг/кг СВ
Фактические значения	1,8	6,9	12,9	1430	592
ГОСТ 33380-2015	0,2	0,1	0,2	220	132

Таким образом, полученный эффлюент не может применяться в чистом виде в качестве удобрения. Следовательно, необходимо уменьшить содержание меди и цинка в получаемом продукте, чтобы в 1 тонне гранулированного удобрения было не более 220 г цинка и 132 г меди.

Целесообразно эффлюент смешивать с другими компонентами, характеризующимися «бедным» минеральным составом, например, торфом. Он используется для улучшения физических и механических характеристик почв, а также для повышения их плодородия. В чистом виде торф, в основном, используется для муль-

Таблица 4

Предельная массовая концентрация примесей тяжелых металлов

Государство	Цинк, мг/кг СВ, не более	Медь, мг/кг СВ, не более	Возможность применения
ЕС, рекомендации, 2015 г.	2000	800	да
ЕС, рекомендации, 2025 г.	1500	600	да
Австрия	3000	700	да
Канада	500	100	нет
Дания	4000	1000	да
Финляндия	1500	600	да
Франция	600	300	нет
Германия	2500	800	да
Ирландия	2500	1000	да
Норвегия	800	650	нет
Швеция	800	600	нет
Швейцария	400/200	100/70	нет
Нидерланды	300	75	нет
Великобритания	400	200	нет
Россия, ГОСТ 33380-2015	220	132	нет

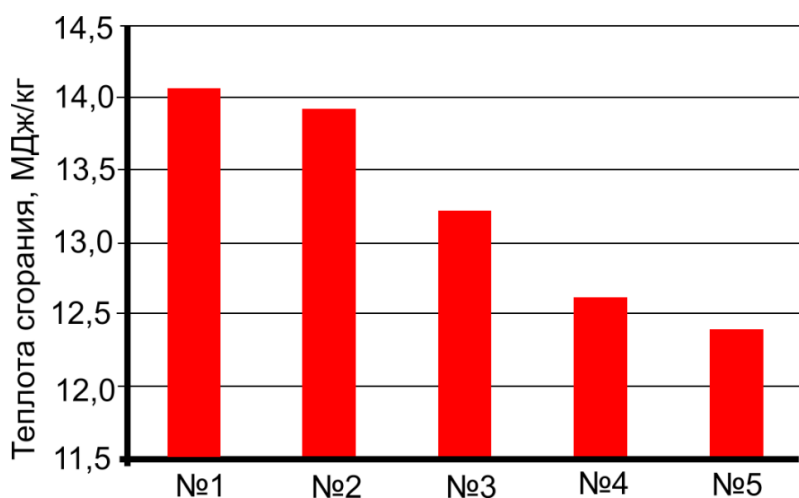


Рис. 3 - Низшая теплота сгорания образцов

чирования почвы, а в смеси с другими компонентами (перегной, почва, песок и др.) становится композиционной добавкой к почве универсального назначения.

Для получения композиционной добавки с эффлюентом в качестве основного компонента может служить низинный торф. Как правило, такой тип торфа имеет нейтральную или слабокислую реакцию. Рассмотрим в качестве примера состав минеральной части торфа Владимирской области (табл. 5).

Как видно из таблицы, низинный торф характеризуется «бедным» составом минеральной части, что делает нецелесообразным его использование в качестве добавки к почве в чистом виде. Следует отметить, что он не содержит в составе цинк и медь. Таким образом, весовое соотношение сухого сырья эффлюента к торфу должно составлять 1:5.

Рассмотрим также возможность применения полученных смесей эффлюента и растительной биомассы в качестве композиционного топлива для сжигания. Для этого необходимо знать его теплотехнические характеристики. В первую очередь, необходимо определение теплоты сгорания. На рис. 3 представлены значения низшей теплоты сгорания исследованных образцов.

В энергетических целях наиболее эффективно применение образцов №1 и №2. Хотя они значительно уступают природному газу и каменному углю, но при этом занимают промежуточное положение между бурым углем, древесной и растительной биомассой. Например, для сухих дров и бурого угля теплота сгорания составляет в среднем 16 МДж/кг, а для стеблей кукурузы и стеблей подсолнечника 14,2 и 12,6 МДж/кг [20]. Следовательно, полученные образцы могут сжигаться, на-

пример, в пылеугольных котлах либо совместно с другими отходами, либо с жидким топливом.

Большое содержание золы (около 26 %, образец №1), являющейся инертным балластом, ограничивает применение композиционного топлива из эффлюента и растительной биомассы. При этом следует отметить, что в России в основном используется уголь средней зольности от 15% до 35% [21]. Высокие показатели зольности исследованных образцов, связанные

Таблица 5

Состав минеральной части низинного торфа [19]

Название	Элементный состав, %													
	Ca	Fe	Si	S	Al	K	Ti	Cl	P	Mg	Mn	Sr	Cu	Zn
Низинный торф	35,2	33,3	13,6	5,8	4,7	2,5	1,1	0,9	0,8	1,3	0,6	0,2	-	-

Таблица 6

Химический состав минеральной части

образцов

Состав золы, %	Содержание, %				
	№1	№2	№3	№4	№5
CaO	33,836	34,849	38,525	41,905	45,547
SiO ₂	28,776	24,130	19,935	13,265	0,928
K ₂ O	12,876	17,017	19,503	23,759	35,459
P ₂ O ₅	6,943	6,78	5,899	5,531	4,539
MgO	4,758	4,471	4,993	5,234	4,999
SO ₃	4,636	4,896	4,807	5,428	-
Cl	2,949	2,969	2,375	2,003	1,666
Fe ₂ O ₃	2,581	2,638	1,816	1,26	0,564
Al ₂ O ₃	1,882	1,448	1,554	1,1	-
TiO ₂	0,365	0,415	0,268	0,223	-
MnO	0,176	0,217	0,163	0,159	0,195
ZnO	0,088	0,089	0,061	0,046	0,064
SrO	0,058	0,054	0,036	0,026	0,035
CuO	0,037	-	0,036	0,044	0,068
ZrO ₂	0,024	-	-	-	-
Br	0,015	0,028	0,029	0,017	0,048

с повышенным содержанием оксидов CaO и SiO₂ (табл. 6), указывают на то, что при прямом сжигании будут образованы золотые отложения, негативно влияющие на поверхности нагрева энергетических установок.

Для устранения этих недостатков целесообразно также применение технологий термохимической конверсии (пиролиз или газификация) с получением жидких, твердых и газообразных продуктов, или процессов производства более сложного по составу композиционного топлива с добавками, позволяющими снизить зольность и увеличить теплотворную способность.

Обсуждение

Эффлюент состоит из твердой фракции и жидкой фракции, содержащей питательные вещества, и является материалом, который остается в конце процесса анаэробного сбраживания. Содержание органических веществ в нем составляет 68–72%, поэтому основным способом его применения является использование в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Тем не менее, использование эффлюента связано с рядом проблем. Во-первых, его необходимо хранить на биогазовых установках до дальнейшего использования, а это может привести к утечке газов, включая CH₄, CO₂, NH₃ и N₂O, тем самым вызывая загрязнение атмосферы. Во-вторых, использование эффлюента регулируется строгими правилами. Например, в Великобритании, только в том случае эффлюент может быть использован для получения удобрений, если он соответствует стандартам, определенным BSC PAS 110, иначе он считается отходами. В России эффлюент должен соответствовать ГОСТ 33380-2015, чтобы применяться в качестве удобрения. Результаты исследования показали, что полученный эффлюент содержит большие концентрации меди и цинка. Необходимо проведение дополнительных экспериментов для того, чтобы определить причину таких высоких значений примесей тяжелых металлов.

Следует отметить, что в настоящее время уже генерируется очень большое количество эффлюента, только в Европейском Союзе в результате работы биогазовых предприятий ежегодно образуется около 180 млн. тонн. В связи с невозможностью вносить отработанный шлам в течение всего года в почву, а также с увеличением его количества, обусловленного ростом числа биогазовых установок, появляется необходимость в альтернативных вариантах его применения. Таким образом, становится важным оптимальное использование этого ресурса,

иначе он будет переходить в категорию нового типа отходов в ближайшем будущем. По этой причине была рассмотрена возможность применения эффлюента, смешанного с растительной биомассой, в качестве композиционного топлива для сжигания. Низшая теплота сгорания наиболее перспективного образца составила 14,1 МДж/кг. Однако высокая зольность полученного топлива также требует проведения дополнительных исследований, направленных на решение этой задачи. В частности, при анализе различных составов композиционного топлива из эффлюента и растительной биомассы следует исключить листья, т.к. они обладают высокой зольностью.

Заключение

1. Для повышения эффективности биогазовых технологий необходимо искать направления применения эффлюента, который образуется в больших количествах в результате анаэробного сбраживания.

2. Рассмотренный эффлюент не может применяться в чистом виде в качестве удобрения, поэтому целесообразно производство из него и торфа композиционной добавки к почве.

3. Низшая теплота сгорания композиционного топлива из эффлюента и растительной биомассы составила 12,4 – 14,1 МДж/кг. Полученные образцы могут быть использованы для прямого сжигания в промышленных котельных установках, при термохимической конверсии (пиролиз, газификация), а также для производ-

ства более сложных по составу твердых композиционных топлив.

4. Для сжигания наиболее эффективно использовать эффлюент в чистом виде (образец №1) и композиционное топливо, состоящее из 75% эффлюента и 25% биомассы растения *Amaranthus retroflexus* L. (образец №2).

Благодарность

Авторы благодарят ЦКП-САЦ ФИЦ КазНЦ РАН за проведенные исследования состава образцов.

Библиографический список

1. Wentzel, S. Effects of biogas and raw slurries on grass growth and soil microbial indices / S. Wentzel, R. G. Joergensen // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. - 2016. - V. 179(2). - P. 215-222.
2. Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives / W. Romaniuk, V. Polishchuk, A. Marczuk, L. Titova, I. Rogovskii, K. Borek // *Agricultural Engineering*. - 2018. - V. 22 (1). - P. 105-125.
3. Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching / T. A. Sogn, I. Dragicevic, R. Linjordet, T. Krogstad, V. Eijsink, S. Eich-Greatorex // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. - 2018. - V. 7. - P. 49-58.
4. Ehmann, A. Fertilizing Potential of Separated Biogas Digestates in Annual and Perennial Biomass Production Systems / A. Ehmann, U. Thumm, I. Lewandowski // *Front. Sustain. Food Syst.* - 2018. - V. 2. - P. 1-14.
5. Use of the effluent from biogas production for cultivation of *Spirulina* / M. Hultberg, O. Lind, G. Birgersson, H. Asp // *Bioprocess Biosyst Eng.* - 2017. - V. 40(4). - P. 625-631.
6. Veronesiv, D. Pre-treated digestate as culture media for producing algal biomass / D. Veronesiv, G. D. Imporzano, S. Salati, F. Adani // *Ecological Engineering*. - 2017. - V. 105. - P. 335-340.
7. Valorisation of digestate from biowaste through solid-state fermentation to obtain value added bioproducts: a first approach / A. Cerda, L. Mejias, P. Rodríguez, A. Rodríguez, A. Artola, X. Font [et al.] // *Bioresour Technol.* - 2019. - V. 271. - P. 409-416.
8. Efficient sophorolipids production using food waste / G. Kaur, H. Wang, H. T. Ming, S. L. K. W. Roelants, W. Soetaert, C. S. K. Lin // *J Clean Prod.* - 2019. - V. 232. - P. 1-11.
9. Valorisation of biowaste digestate through solid state fermentation to produce biopesticides from *Bacillus thuringiensis* / P. Rodríguez, A. Cerda, X. Font, A. Sánchez, A. Artola // *Waste Management*. - 2019. - V. 93. - P. 63-71.
10. Biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) plastic under anaerobic sludge and aerobic seawater conditions: gas evolution and microbial diversity / S. Wang, K. A. Lydon, E. M. White, J. B. Grubbs, E. K. Lipp, J. Locklin [et al.] // *Environ Sci Technol.* - 2018. - V. 52(10). - P. 5700-5709.
11. Altun, M. Polyhydroxyalkanoate production using waste vegetable oil and filtered digestate liquor of chicken manure / M. Altun // *Prep Biochem Biotechnol.* - 2019. - V. 49(5). - P. 493-500.
12. Value Addition of Anaerobic Digestate From Biowaste: Thinking Beyond Agriculture / G. Kaur, J. W. C. Wong, R. Kumar [et al.] // *Curr Sustainable Renewable Energy Rep.* - 2020. - V. 7. - P. 48-55.
13. Use of solid digestate for lignocellulolytic enzymes production through submerged fungal fermentation / A. Musatti, E. Ficara, C. Mapelli, C. Sambusiti, M. Rollini // *J Environ Manag.* - 2017. - V. 199. - P. 1-6.
14. Kinetic Analysis of Digestate Slow Pyrolysis with the Application of the Master-Plots Method and Independent Parallel Reactions Scheme / P. Bartocci, R. Tschentscher, R. E. Stensrød, M. Barbanera, F. Fantozzi // *Molecules*. - 2019. - V. 24(9). - P. 1657.
15. Wei, Y. Thermal characterization and pyrolysis of digestate for phenol production / Y. Wei, J. Hong, W. Ji // *Fuel*. - 2018. - V. 232. - P. 141-146.
16. Wiśniewski, D. The pyrolysis and gasification of digestate from agricultural biogas plant / D. Wiśniewski, J. Gołaszewski, A. Białowiec // *Archives of Environmental Protection*. - 2015. - V. 41 (3). - P. 70-75.
17. Integrating Anaerobic Digestion of Pig Slurry and Thermal Valorisation of Biomass / J. González-Arias, C. Fernández, J. G. Rosas, J. G. Rosas, M. P. Bernal, R. Clemente, M. E. Sanchez, X. Gomez // *Waste and Biomass Valorization*. - 2019. - P. 13.
18. Sustainability Biogas Production from Ensiled Plants Consisting of the Transformation of the Digestate into a Valuable Organic-Mineral Granular Fertilizer / H. Prask, J. Szlachta, M. Fugol, L. Kordas, A. Lejman, F. Tużnik, F. Tużnik // *Sustainability*. - 2018. - V. 10, 585. - P. 13.

19. A comprehensive study of thermotechnical and thermogravimetric properties of peat for power generation / D. V. Ermolaev, S. S. Timofeeva, S. I. Islamova, K. S. Bulygina, M. F. Gilfanov // *Biomass Conversion and Biorefinery*. - 2019. - V. 9. - P. 767–774.

20. Özyuğuran, A. Prediction of calorific value of biomass based on elemental analysis

/ A. Özyuğuran, S. Yaman, S. Küçükbayrak // *International Advanced Researches and Engineering Journal*. - 2018. - V. 2(3). - P. 254–260.

21. Sokolov, A. Coal resources of the eastern regions of Russia for power plants of the Asian super ring / A. Sokolov, L. Takaishvili // *E3S Web of Conferences*. - 2018. - V. 27. - P. 1-8.

POSSIBILITIES OF APPLICATION THE EFFLUENT OF BIOGAS UNIT

Karaeva Y. V.¹, Timofeeva S. S.¹, Gilfanov M. F.²

¹Energy institute and advanced technologies-a business division of the Federal research center “Kazan scientific center of the Russian Academy of Sciences»²FSBEI HE Kazan national research technological University

¹420111, Republik of Tatarstan, Kazan, Lobachevskogo street, 2/31,
tel. 8(843)231-90-79; e-mail: julieenergy@list.ru

²420015, Republik of Tatarstan, Kazan, Karl Marx street, 68,
men. 8(843)231-89-37; e-mail: zaex@mail.ru

Key words: effluent, biomass, *Amaranthus retroflexus* L., organic fertilizers, composite fuel.

As the result of the biogas plant work, a lot of sludge (effluent) is formed, which can be used for various purposes. This article shows the possibility of appliance solids of effluent as an organic fertilizer, as well as fuel for generating thermal energy. The studied effluent was obtained after anaerobic fermentation of cow dung and biomass of the plant *Amaranthus retroflexus* L. In addition, mixtures of effluent with residues of plant biomass were examined. They are a mixture of seeds, stems and leaves in a ratio of 1:1,1:1,6. Five samples were examined: 100% effluent; 75% effluent and 25% biomass; 50% effluent and 50% biomass; 25% effluent and 75% biomass; 100% plant biomass. The content of nutrients (total nitrogen, phosphorus, potassium) in the samples significantly exceeds the indicators recommended by GOST 33380-2015. It was established that studied samples have high concentrations of copper and zinc. The studied effluent can not be used in its pure form as a fertilizer, but it is advisable to mix it with other components characterized by a “poor” mineral composition, such as peat. For the production of soil additives, the weight ratio of dry raw materials of effluent to lowland peat is 1:5. The lowest heat value of effluent in a mixture with plant biomass was from 12.4 MJ/kg to 14.1 MJ/kg. For heat value, it is most effective to use pure effluent and composite fuel consisting of 75% effluent and 25% biomass of the plant *Amaranthus retroflexus* L. The high ash content of the studied samples is due to the increased content of CaO and SiO₂ oxides.

Bibliography

1. Wentzel, S. Effects of biogas and raw slurries on grass growth and soil microbial indices / S. Wentzel, R. G. Joergensen // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. - 2016. - V. 179(2). - P. 215–222.
2. Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives / W. Romaniuk, V. Polishchuk, A. Marczuk, L. Titova, I. Rogovskii, K. Borek // *Agricultural Engineering*. - 2018. - V. 22 (1). - P. 105–125.
3. Recycling of biogas digestates in plant production: NPK fertilizer value and risk of leaching / T. A. Sogn, I. Dragicevic, R. Linjordet, T. Krogstad, V. Eijsink, S. Eich-Greatorex // *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. - 2018. - V. 7. - P. 49–58.
4. Ehmman, A. Fertilizing Potential of Separated Biogas Digestates in Annual and Perennial Biomass Production Systems / A. Ehmman, U. Thumm, I. Lewandowski // *Front. Sustain. Food Syst.* - 2018. - V. 2. - P. 1–14.
5. Use of the effluent from biogas production for cultivation of *Spirulina* / M. Hultberg, O. Lind, G. Birgersson, H. Asp // *Bioprocess Biosyst Eng.* - 2017. - V. 40(4). - P. 625–631.
6. Veronesiv, D. Pre-treated digestate as culture media for producing algal biomass / D. Veronesiv, G. D. Imporzano, S. Salati, F. Adani // *Ecological Engineering*. - 2017. - V. 105. - P. 335–340.
7. Valorisation of digestate from biowaste through solid-state fermentation to obtain value added bioproducts: a first approach / A. Cerda, L. Mejias, P. Rodríguez, A. Rodríguez, A. Artola, X. Font [et al.] // *Bioresour Technol.* - 2019. - V. 271. - P. 409–416.
8. Efficient sophorolipids production using food waste / G. Kaur, H. Wang, H. T. Ming, S. L. K. W. Roelants, W. Soetaert, C. S. K. Lin // *J Clean Prod.* - 2019. - V. 232. - P. 1–11.
9. Valorisation of biowaste digestate through solid state fermentation to produce biopesticides from *Bacillus thuringiensis* / P. Rodríguez, A. Cerda, X. Font, A. Sánchez, A. Artola // *Waste Management*. - 2019. - V. 93. - P. 63–71.
10. Biodegradation of poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) plastic under anaerobic sludge and aerobic seawater conditions: gas evolution and microbial diversity / S. Wang, K. A. Lydon, E. M. White, J. B. Grubbs, E. K. Lipp, J. Locklin [et al.] // *Environ Sci Technol.* - 2018. - V. 52(10). - P. 5700–5709.
11. Altun, M. Polyhydroxyalkanoate production using waste vegetable oil and filtered digestate liquor of chicken manure / M. Altun // *Prep Biochem Biotechnol.* - 2019. - V. 49(5). - P. 493–500.
12. Value Addition of Anaerobic Digestate From Biowaste: Thinking Beyond Agriculture / G. Kaur, J. W. C. Wong, R. Kumar [et al.] // *Curr Sustainable Renewable Energy Rep.* - 2020. - V. 7. - P. 48–55.
13. Use of solid digestate for lignocellulolytic enzymes production through submerged fungal fermentation / A. Musatti, E. Ficara, C. Mapelli, C. Sambusiti, M. Rollini // *J Environ Manag.* - 2017. - V. 199. - P. 1–6.
14. Kinetic Analysis of Digestate Slow Pyrolysis with the Application of the Master-Plots Method and Independent Parallel Reactions Scheme / P. Bartocci, R. Tschentscher, R. E. Stensrød, M. Barbanera, F. Fantozzi // *Molecules*. - 2019. - V. 24(9). - P. 1657.
15. Wei, Y. Thermal characterization and pyrolysis of digestate for phenol production / Y. Wei, J. Hong, W. Ji // *Fuel*. - 2018. - V. 232. - P. 141–146.
16. Wiśniewski, D. The pyrolysis and gasification of digestate from agricultural biogas plant / D. Wiśniewski, J. Gołaszewski, A. Białowicz // *Archives of Environmental Protection*. - 2015. - V. 41 (3). - P. 70–75.
17. Integrating Anaerobic Digestion of Pig Slurry and Thermal Valorisation of Biomass / J. González-Arias, C. Fernández, J. G. Rosas, J. G. Rosas, M. P. Bernal, R. Clemente, M. E. Sanchez, X. Gomez // *Waste and Biomass Valorization*. - 2019. - P. 13.
18. Sustainability Biogas Production from Ensiled Plants Consisting of the Transformation of the Digestate into a Valuable Organic-Mineral Granular Fertilizer / H. Prask, J. Szlachta, M. Fugol, L. Kordas, A. Lejman, F. Tużnik, F. Tużnik // *Sustainability*. - 2018. - V. 10, 585. - P. 13.
19. A comprehensive study of the thermotechnical and thermogravimetric properties of peat for power generation / D. V. Ermolaev, S. S. Timofeeva, S. I. Islamova, K. S. Bulygina, M. F. Gilfanov // *Biomass Conversion and Biorefinery*. - 2019. - V. 9. - P. 767–774.
20. Özyuğuran, A. Prediction of calorific value of biomass based on elemental analysis / A. Özyuğuran, S. Yaman, S. Küçükbayrak // *International Advanced Researches and Engineering Journal*. - 2018. - V. 2(3). - P. 254–260.
21. Sokolov, A. Coal resources of the eastern regions of Russia for power plants of the Asian super ring / A. Sokolov, L. Takaishvili // *E3S Web of Conferences*. - 2018. - V. 27. - P. 1-8.