

УДК 620.97:631.862

DOI: 10.24412/1999-6837-2021-2-144-151

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ БИОГАЗА, ПОЛУЧАЕМОГО ОТ НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

**Ирина Аркадьевна Савватеева, Варвара Петровна Друзьянова**

*Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск*

**Аннотация.** В Республике Саха (Якутия) животноводство представлено следующими видами животных – крупный рогатый скот, лошади, олени, свиньи и птицы. На конец 2020-го года количество поголовья животных составляет 540 тыс. гол. Соответственно, они производят ежегодно 2,8 млн. т навоза. В настоящее время отсутствуют технологии по переработке и утилизации данного объема навоза, наносится невосполнимый урон окружающей среде.

Существуют различные способы по обеззараживанию, переработке и утилизации навоза животных [8]. Для применения в сложившихся условиях Якутии наиболее подходит психрофильная биогазовая технология, разработанная якутскими учеными [1, 8, 10, 16, 18]. При переработке навоза в биогазовых установках получается качественное удобрение и сопутствующий продукт биогаз – альтернативное топливо, возобновляемый источник энергии.

Необходимость широкого внедрения возобновляемых источников энергии требует учитывать все выходные параметры, а именно энергетическую, экологическую, режимную (эксплуатационную), экономическую и социальную эффективность. Сегодня более перспективный путь – использование солнечной энергии, запасённой в биомассе в результате фотосинтеза растений, для получения жидкого и газообразного топлива [2, 8, 19]. В отличие от ветроустановок и фотоэлектрических станций, затраты на внедрение биогазовых установок окупаются быстрее – от 5 до 26 месяцев в зависимости от объёма реакторов [19].

При внедрении биогазовых технологий можно достичь следующих целей: дешевое производство тепловой и электрической энергии; увеличение урожайности сельскохозяйственных культур с помощью применения эффлюента; улучшение качества сельскохозяйственной продукции – производство экологически чистых продуктов; улучшение социальных условий сельского населения путем создания замкнутого энергосберегающего производства; сохранение лесопосадок и снижение эрозии почв; экономия за счет снижения затрат на энергоносители и удобрения; снижение внутренней миграции из сельской местности.

**Ключевые слова:** навоз животных, биогазовые технологии, биогаз, летние фермы, удои молока, возобновляемые источники энергии, автономное электричество, энергоэффективность, удобрения, независимое автономное производство.

## TECHNOLOGY OF ELECTRICITY PRODUCTION FROM BIOGAS OBTAINED FROM CATTLE MANURE

**I. A. Savvateeva, V. P. Druzianova**

*North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk*

**Abstract.** In the Republic of Sakha (Yakutia), animal husbandry is represented by the following animal species - cattle, horses, deer, pigs and poultry. At the end of 2020, the number of livestock

is 540000 head. Accordingly, they produce annually 2.8 million tons of manure. Currently, there are no technologies for processing and disposal of this volume of manure, and irreparable damage to the environment is caused.

There are various methods for the disinfection, processing and disposal of animal manure [8]. The psychrophilic biogas technology developed by Yakut scientists is most suitable for application in the current conditions of Yakutia [1, 8, 10, 16, 18].

When processing manure in biogas plants, high-quality fertilizer and related product – biogas are obtained. It is an alternative fuel and a renewable energy source.

The need for widespread introduction of renewable energy sources requires taking into account all output parameters, namely, energy, environmental, operating (operational), economic and social efficiency. Today, a more promising way is the use of solar energy to obtain liquid and gaseous fuels in detail to produce liquid and gaseous fuels [2, 8, 19]. In contrast to wind turbines and photovoltaic power stations, the cost of introducing biogas plants pays back from 5 to 26 months depending on the volume of reactors [19].

With the introduction of biogas technologies, the following goals can be achieved: cheap production of heat and electric energy (individual and state level), increase in crop yields through the using of effluent (individual and state level); improvement of the quality of agricultural products - the production of ecologically safe products; improvement of the social conditions of the rural population by creating a closed energy-saving production (individual and state level); preservation of forest plantations and reduction of soil erosion (mainly at the state level); savings due to lower energy costs and fertilizers (state level); reduction of internal migration from rural areas (state level).

**Key words:** animal manure, biogas technologies, biogas, summer farms, milk yield, renewable energy sources, autonomous electricity, energy efficiency, fertilizers, independent autonomous production.

**Введение.** Целью данной работы является создание автономной технологии электроснабжения в Республике Саха для эффективного использования удаленных территорий под пастбищные угодья, что положительно повлияло бы на повышение показателей удоев молока. Таким образом, можно не только вернуть заброшенные земли в оборот, но и создать безотходное независимое производство путем применения автономных энергогенерирующих комплексов. За основу взята психрофильная технология переработки свежего навоза животных, разработанная якутскими учеными [1, 8, 10, 16, 18].

Как известно, при утилизации в биоэнергетических установках свежий навоз превращается в качественное ор-

ганическое удобрение и в результате его анаэробного сбраживания образуется альтернативное топливо в виде биогаза [8]. Основным горючим составляющим биогаза является метан, а увеличение его количества достигается путем очистки биогаза от негорючих составляющих – воды, сероводорода и углекислого газа. В настоящее время разработаны и используются различные способы по доведению биогаза до качества моторного топлива, которые описаны в работах Семеновой О. П. [18], Петрова Н. В. [16].

**Методика.** На первом этапе была собрана и запущена лабораторная линия по анаэробному сбраживанию свежего навоза КРС (рис.1).



**Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной биогазовой линии**

1 – метантенк объемом 1 м<sup>3</sup>; 2 – газгольдер; 3 – компрессор; 4 – фильтр; 5 – газовый баллон

Лабораторная линия по анаэробному сбраживанию свежего навоза КРС была установлена на территории частной жи-

вотноводческой фермы на металлической платформе (рис. 2).



**Рис. 2. Общий вид лабораторной линии по анаэробному сбраживанию**

После достижения устойчивой работы биогазовой линии, а именно с получением биогаза, поддерживающего процесс

горения, к линии добавили газовый генератор и потребитель энергии в виде электрической лампы (рис.3).



**Рис. 3. Экспериментальная когенерационная линия**

1 – метантенк объемом 1 м<sup>3</sup>; 2 – газгольдер; 3 – компрессор; 4 – фильтр; 5 – газовый баллон; 6 – газовый генератор марки «СПЕЦ» модель SG-6500E; 7 – электрическая лампа 40 Ватт

Для оценки топливного потенциала отходов предприятий животноводства будем опираться на количество поголовья КРС, содержащегося в фермерских хозяйствах Якутии. В Республике Саха (Якутия) животноводство представлено следующими видами животных – крупный рогатый скот, лошади, олени, свиньи и птицы. На конец 2020 года количество поголовья животных составляет 540 тыс. гол. Соответственно, они производят ежегодно 2,8 млн. т навоза. Эти отходы путем анаэробной технологии можно преобразовать в экологически чистое удобрение с получением сопутствующего продукта в виде биогаза. После очистки биогаз, альтернативное топливо можно преобразовывать в электрическую энергию через генераторы.

Для когенерации биогаза в электрическую энергию используются газопоршневые станции (ГПЭС). Газовые двигатели используются для работы в составе генераторных установок, предназначенных для стабильной и циклической работы (пиковые нагрузки) с комбинированной выработкой электроэнергии и тепла, а также в качестве аварийных источников энергии. Кроме того, они могут работать как в составе холодильных установок, так

и для привода насосов и газовых компрессоров. Они могут использовать различные виды газа: природный, газы с низкой теплотворной способностью, невысоким содержанием метана и низкой степенью детонации или газы с высокой теплотворной способностью – факельный, пропан, бутан, а также приспособлены к перестройке для работы с одного вида газа на другой.

**Результаты и обсуждение.** Перед запуском генератора был произведен сбор биогаза – установка работала в психрофильном режиме и средний суточный выход биогаза составлял 0,4–1,3 м<sup>3</sup>/сут. По работам разных исследователей известно, что в психрофильном режиме получается наилучшего качества биогаз – соотношение метана в психрофильном газе в основном преобладает [16]. Анализ полученного биогаза проведен газоанализатором «Автотест – 01.03М» – метан составил 94–96%.

Нами был выбран газовый генератор марки «СПЕЦ» модель SG-6500E. Требования к газу данного генератора: природный газ при условии состава метана CH<sub>4</sub> более 90%, уровень подачи топлива Q<sub>l</sub>>2кг/час (или Q<sub>l</sub>>1куб.м/час), рекомендуемое давление газа выходе 2 Кпа – 6 КПа.





Биогазовая линия с газогенератором



Процесс когенерации биогаза в электроэнергию

**Рис. 4. Момент преобразования биогаза в электрическую энергию (лампа 40 Вт)**

Таким образом, были обозначены основные значения факторов для обеспечения устойчивой работы генератора марки «СПЕЦ», модели SG-6500E: объем метана в биогазе 90–94%; регулятор давления на выходе 3,6 КПа; диаметр жиклера подачи газа  $d=40$  мм.

**Выводы.** Сырье – свежий навоз крупного рогатого скота с влажностью 87–90%. Режим работы биогазовой линии

– психрофильный (дневная температура воздуха 18–27 °С; ночная – 13–16 °С). Состав биогаза для оптимальной работы газового генератора должен находиться в пределах 94–96%  $\text{CH}_4$ . Ввиду того, что размеры частиц биогаза намного больше частиц природного газа, следует увеличить жиклеры при входе в камеру сгорания до 40 мм.

### Список литературы

1. Апробация новой биогазовой технологии: эксперименты и результаты / В. П. Друзьянова, С. А. Петрова, М. К. Охлопкова, А. В. Спиридонова, А. М. Бондаренко // Журнал борьбы с промышленным загрязнением окружающей среды. – 2017. –Т. 33. –№ 1. – С. 1058–1066.
2. Баадер, В. Биогаз. Теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – Москва : Колос, 1982. – 148 с.
3. Биогаз на основе возобновляемого сырья – сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии (Russische Kurzfassung Biogas-Messprogramm II). // Biteco. – URL: <https://mediathek.fnr.de/russische-kurzfassung-biogas-messprogramm-ii.html> (дата обращения 11.02.2014).
4. Веденев, А. Г. Руководство по биогазовым технологиям / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева. – Бишкек: ДЭМИ, 2011. – 84 с.
5. Веденев, А. Г. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева. – ОФ «Флюид», Б. Типография «Полиграфоформление», 2006. – 90 с.
6. Гюнтер, Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфр. – Москва : Стройиздат, 1991. – 128 с., ил.
7. Даянова, Г. И. Анализ эффективности использования сельскохозяйственных угодий в республике Саха(Якутия) / Г. И. Даянова, И. К. Егорова, Л. Д. Протопопова // Материалы из заседания научно-координационного совета Якутский научно-исследова-

тельский институт сельского хозяйства им. М. Г. Сафронова. –URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-ispolzovaniya-selskohozyaystvennyh-ugodiy-v-respublike-saha-yakutiya> (дата обращения 03.03.2021).

8. Друзьянова, В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота : автореф. дис.на соиск. учен. степ. докт. техн. наук : 05.20.01 / Друзьянова Варвара Петровна □ Вост. Сиб. ун-т технологий и управления. – Улан-Удэ, 2015. – 22 с.

9. Евтеев, В. К. Особенности механизации животноводства в Республике Саха (Якутия) / В. К. Евтеев, В. П. Друзьянова // Актуальные проблемы АПК: материалы регион. науч.-практ. конф. Ч. 3. Механизация сельскохозяйственного производства. – Иркутск, 2001. – С. 14–15.

10. Егорова, Е. Н. Обоснование параметров метантенка малого объема с перемешивающим устройством для условий Республики Саха (Якутия) : автореф. дис.на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.20.01/ Егорова Елена Николаевна; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск, 2017. – 20 с.

11. Ковалев, А. А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.20.01 / Ковалев Андрей Александрович; Всеросс. науч.-исслед. ин-т электрификации сельского хозяйства. – Москва, 2014. – 22 с.

12. Ковалев, В. В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии / В. В. Ковалев, Д. В. Унгурияну, О. В. Ковалева // Проблемы региональной энергетики. – 2012. – №1. – С. 102–114.

13. Костромин, Д. В. Анаэробная переработка органических отходов животноводства в биореакторе с барботажным перемешиванием : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.20.01 / Костромин Денис Владимирович; Всерос. науч.-исслед. технол. ин-т ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. – Москва, 2010. – 17 с.

14. Панцхава, Е. С. Биогаз – высокорентабельное топливо для всех регионов России / Е. С. Панцхава, М. М. Шипилов, А. П. Пауков, Н. Д. Ковалев // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 1. – С. 20–23.

15. Петров, К. П. Аэродинамика тел простейших форм / К. П. Петров. – Москва : Физматлит, 1998. – 428 с.

16. Петров, Н. В. Обеспечение работоспособности бензиновых двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники при переводе на биогаз корректированием регулировочных параметров двигателя : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.20.03 / Петров Николай Вадимович; Вост. Сиб. ун-т технологий и управления. – Улан-Удэ, 2013. – 20 с.

17. Ресурсосберегающая технология производства экологически чистых органических удобрений / Друзьянова В. П., Петрова С. А., Охлопкова М. К., Сергеев Ю.О. – Дупа, 2018 г. - Т. 93. - № 4. - С. 398-403.

18. Семенова, О.П. Повышение экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве путем применения фильтра очистки биогаза с природным цеолитом: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.20.01/ Семенова Ольга Пантелеймоновна; Алт. гос. ун-т им. И.И. Ползунова. – Якутск, 2018. – 24 с.

19. Безруких, П. П. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты. – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vozobnovlyaemoj-energetiki-mify-i-fakty> (дата обращения 21.01.2021).

### References

1. Aprobatsiia novoi biogazovoi tekhnologii: eksperimenty i rezul'taty (Approbation of new biogas technology: experiments and results), V.P. Druzianova, S. A. Petrova, M. K. Okhlop-kova, A. V. Spiridonova, A. M. Bondarenko, Zhurnal bor'by s promyshlennym zagriazneniem okruzhaiushchei sredy, 2017, T. 33, No 1, PP. 1058-1066.
2. Baader, V., Done, E., Brennderfer, M. Biogaz: Teoriia i praktika (Biogas: Theory and Practice), Moskva, Kolos, 1982, 148 p.
3. Biogaz na osnove vozobnovliaemogo syr'ia - Sravnitel'nyi analiz shestidesiati odnoi ustanovki po proizvodstvu biogaza v Germanii (Russische Kurzfassung Biogas- Messprogramm II). (Biogas based on renewable raw materials – Comparative analysis of sixty-one biogas plants in Germany, Viteco, URL: <https://mediathek.fnr.de/russische-kurzfassung-biogas-messprogramm-ii.html> (accessed data 11.02.2014).
4. Vedenev, A. G., Vedeneva, T. A. Rukovodstvo po biogazovym tekhnologiiam (Biogas Technology Guide), Bishkek, DEMI, 2011, 84 p.
5. Vedenev, A. G., Vedeneva, T. A. Biogazovye tekhnologii v Kyrgyzskoi Respublike (Biogas technologies in the Kyrgyz Republic), OF «Fluid», B. Tipografia «Poligrafoformlenie», 2006, 90 p.
6. Giunter, L. I., Goldfrab, L.I. Metantenki (Digesters), Moskva, Stroiizdat, 1991, 128 p.
7. Dayanova, G. I., Egorova, I. K., Protopopova, L. D. Analiz effektivnosti ispol'zovaniya sel'skokhozyaistvennykh ugodii v respublike Sakha(Yakutiya) (Analysis of the efficiency of agricultural land use), materialy iz zasedaniya nauchno-koordinatsionnogo soveta FGBNU Yakutskii nauchno-issledovatel'skii institut sel'skogo khozyaistva im. M.G. Safronova [Elektr. resurs] - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-effektivnosti-ispolzovaniya-selskohozyaystvennykh-ugodiy-v-respublike-saha-yakutiya> (data obrashcheniya 3.03.2021).
8. Druzianova, V. P. Energoberegaiushchaia tekhnologiya pererabotki navoza krupnogo rogatogo skota: avtoref. dis.na soisk. uchen. step. dokt. tekhn. nauk :05.20.01 (Energy-saving technology for processing cattle manure: Abstract of Doctor's degree dissertation: 05.20.01), Druzianova Varvara Petrovna, Vost. Sib. un-t tekhnologii i upravleniia, Ulan-Ude, 2015, 22 p.
9. Evteev, V. K., Druzianova, V. P. Osobennosti mekhanizatsii zhivotnovodstva v Respublike Sakha (Iakutiia) (Features of mechanization of animal husbandry in the Republic of Sakha (Yakutia)), Aktual'nye problemy APK: materialy region. nauch.- prakt. konf.: Ch. 3. Mekhanizatsiia sel'skokhoziaistvennogo proizvodstva, Irkutsk, 2001, PP. 14-15.
10. Egorova, E. N. Obosnovanie parametrov metantenka malogo ob'ema s peremeshivaiushchim ustroistvom dlia uslovii Respubliki Sakha (Iakutiia): avtoref. dis.na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk : 05.20.01 (Substantiation of the parameters of a small digester with a mixing device for the conditions of the Republic of Sakha (Yakutia): Abstract of Ph.D. thesis: 05.20.01), Egorova Elena Nikolaevna, Dal'nevost. gos. agrar. un-t, Blagoveshchensk, 2017, 20 p.
11. Kovalev, A. A. Povyshenie energeticheskoi effektivnosti biogazovykh ustanovok: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk : 05.20.01 (Increasing of the energy efficiency of biogas plants: Abstract of Ph.D. thesis: 05.20.01), Kovalev Andrei Aleksandrovich, Vseross. nauch.-issled. in-t elektrifikatsii sel'skogo khoziaistva, Moskva, 2014, 22 p.
12. Kovalev, V. V., Ungurianu, D.V., Kovaleva, O.V. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sovershenstvovaniia protsessov biogazovoi tekhnologii (Theoretical and practical aspects of improving the processes of biogas technology), Problemy regional'noi energetiki, 2012, No 1, PP.102-114.
13. Kostromin, D. V. Anaerobnaia pererabotka organicheskikh otkhodov zhivotnovodstva v bioreaktore s barbotazhnym peremeshivaniem: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 (Anaerobic processing of organic animal waste in a bioreactor with bubbling mix-

ing: Abstract of Ph.D. thesis: 05.20.01), Kostromin Denis Vladimirovich, Vseros. nauch.-issled. tekhnol. in-t remonta i ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka, Moskva, 2010, 17 p.

14. Pantskhava, E. S., Shipilov, M. M., Paukov, A.P., Kovalev, N. D. Biogaz - vysokorentabel'noe toplivo dlia vseh regionov Rossii (Biogas is a highly profitable fuel for all regions of Russia), *Novosti teplosnabzheniia*, 2008, No 1., PP. 20-23.

15. Petrov, K. P. Aerodinamika tel prosteishikh form (Aerodynamics of bodies of the simplest shapes), Moskva, Fizmatlit, 1998, 428 p.

16. Petrov, N. V. Obespechenie rabotosposobnosti benzinovykh dvigatelei vnutrennego sgoraniia sel'skokhoziaistvennoi tekhniki pri perevode na biogaz korrektsirovaniem regulirovochnykh parametrov dvigatel'ia: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. Nauk : 05.20.03 (Ensuring of the operability of gasoline internal combustion engines of agricultural machinery when converting to biogas by adjusting the regulated parameters of the engines: Abstract of Ph.D. thesis: 05.20.03, Petrov Nikolai Vadimovich, Vost. Sib. un-t tekhnologii i upravleniia, Ulan-Ude, 2013, 20 p.

17. Resursosberegaiushchaia tekhnologiia proizvodstva ekologicheskii chistykh organicheskikh udobrenii (Resource-saving technology for the production of environmentally friendly organic fertilizers), Druzianova V. P., Petrova S. A., Okhlopkoval M. K., Sergeev Yu.O., *Dyna*, 2018 g., T. 93, No 4, PP. 398-403.

18. Semenova, O. P. Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti v sel'skokhoziaistvennom proizvodstve putem primeneniia fil'tra ochistki biogaza s prirodnyim tseolitom: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. tekhn. nauk: 05.20.01 (Improvement of environmental safety in agricultural production by using a biogas filter with natural zeolite: Abstract of Ph.D. thesis: 05.20.01), Semenova Ol'ga Panteleimonovna, Alt. gos. un-t im. I.I. Polzunova, Iakutsk, 2018, 24 p.

19. Bezrukikh, P. P. Effektivnost' vozobnovliaemoi energetiki. Mify i fakty. [Elektr. resurs] (Renewable energy efficiency. Myths and facts.) URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vozobnovlyaemoy-energetiki-mify-i-fakty> (accessed data 21.01.2021).

© Савватеева И. А., Друзьянова В. П., 2021

### **Информация об авторах**

**Друзьянова Варвара Петровна**, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: [druzvar@mail.ru](mailto:druzvar@mail.ru).

**Савватеева Ирина Аркадьевна**, старший преподаватель кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: [karinushka\\_nv25@mail.ru](mailto:karinushka_nv25@mail.ru).

### **Information about authors**

**Varvara P. Druzianova**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Car Operation and Service, Faculty of Road Traffic; North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov; 58, Belinsky st., Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia; 677007; e-mail: [druzvar@mail.ru](mailto:druzvar@mail.ru);

**Irina A. Savvateeva**, Senior Lecturer of the Department of Car Operation and Service, Faculty of Road Traffic; North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov; 58, Belinsky st., Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia; 677007; e-mail: [karinushka\\_nv25@mail.ru](mailto:karinushka_nv25@mail.ru).