

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.172

И.Ю. Александров, В.П. Друзьянова,  
И.А. Савватеева, Г.Е. Кокиева  
I.Yu. Aleksandrov, V.P. Druzyanova,  
I.A. Savvateyeva, G.Ye. Kokiyeva

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ ИЗ БИОГАЗА

### BIOGAS POWER GENERATION

**Ключевые слова:** биогаз, биогазовые технологии, летники, удои молока, средний удой, альтернативное электричество, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, срок окупаемости, удобрения, энергосберегающее производство.

Необходимость широкого внедрения возобновляемых источников энергии требует учитывать все составляющие понятия их эффективности, а именно энергетическую, экологическую, режимную (эксплуатационную), экономическую и социальную эффективность. Сегодня более перспективный путь – использование солнечной энергии, запасённой в биомассе в результате фотосинтезной детальности растений, для получения жидкого и газообразного топлива. В отличие от ветроустановок и фотоэлектрических станций, затраты на внедрение биогазовых установок окупаются от 5 до 26 месяцев в зависимости от объёма реакторов. При внедрении биогазовых технологий можно достичь следующих целей: дешёвое производство тепловой и электрической энергии (индивидуальный и государственный уровни); увеличение урожайности сельскохозяйственных культур с помощью применения эффлюента (индивидуальный и государственный уровни); улучшение качества сельскохозяйственной продукции – производство экологически чистых продуктов; улучшение социальных условий сельского населения путем создания замкнутого энергосберегающего производства (ин-

дивидуальный и государственный уровни); сохранение лесопосадок и снижение эрозии почв (в основном государственный уровень); экономия за счет снижения затрат на энергоносители и удобрения (государственный уровень); снижение внутренней миграции из сельской местности (государственный уровень).

**Keywords:** *biogas, biogas technologies, summer camp, milk yield, average milk yield, alternative electricity, renewable energy sources, energy efficiency, payback period, fertilizers, energy-saving production.*

The need for widespread introduction of renewable energy sources requires giving attention to all the components of their efficiency: energy, environmental, operational, economic and social efficiency. Today, a more promising way is the use of solar energy stored in plant biomass to obtain liquid and gaseous fuels. In contrast to wind turbines and photovoltaic power plants, the cost of introducing biogas plants pays back within 5-26 months depending on the volume of reactors. With the introduction of biogas technologies, the following goals may be achieved: inexpensive production of heat and electric energy (individual and state level), increasing crop yields through the using of effluent (individual and state level); improving the quality of agricultural products - the production of ecologically clean products; improving 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).

**Александров Игорь Юрьевич**, к.т.н., доцент каф. «Механизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции», Алтайский государственный аграрный университет. Тел. (3852) 203-272. E-mail: ig.aleksandrov@mail.ru.

**Друзьянова Варвара Петровна**, д.т.н., проф., зав. каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис», Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск; и.о. проф. каф. «Механизация сельскохозяйственного производства», Октемский филиал, Якутская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: druzvar@mail.ru.

**Савватеева Ирина Аркадьевна**, ст. преп., каф. «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис», Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск. E-mail: karinushka\_nv25@mail.ru.

**Кокиева Галия Ергешевна**, д.т.н., и.о. декана инженерного фа-та, Якутская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: kokievagalina@mail.ru.

**Aleksandrov Igor Yuryevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Agricultural Production and Processing Mechanization, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 203-272. E-mail: ig.aleksandrov@mail.ru.

**Druzyanova Varvara Petrovna**, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Automobile Transport Operation and Service, North-Eastern Federal University in Yakutsk; Acting Prof., Yakutsk State Agricultural Academy. E-mail: druzvar@mail.ru.

**Savvateyeva Irina Arkadyevna**, Asst. Prof., North-Eastern Federal University in Yakutsk. E-mail: karinushka\_nv25@mail.ru.

**Kokiyeva Galiya Yergeshevna**, Dr. Tech. Sci., Acting Dean, Engineering Dept., Yakutsk State Agricultural Academy. E-mail: kokievagalina@mail.ru.

## Введение

Биогазовая технология теоретически и практически наиболее полно исследована такими учеными, как В. Баадер, А.Г. Веденев, Л.И. Гюнтер, А.А. Ковалев., В.В. Ковалев, Е.С. Панцхава и др. [1-6].

Для малых фермерских хозяйств практическую ценность имеют труды А.Г. Веденева, который внедрил и изучил биогазовую технологию в условиях Кыргызской Республики. Якутскими исследователями, ввиду холодного климата региона, изучен и апробирован анаэробный процесс в психрофильном режиме работы установок [7, 8]. Ими впервые разработаны динамическая и математическая модели анаэробного процесса при психрофильном режиме работы биогазовых установок. На основе динамической модели получена математическая модель анаэробного сбраживания в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= (\mu - \dot{\mu})T; \\ \frac{dS}{dt} &= \tau j_s T - V - \bar{V}; \\ \frac{dP}{dt} &= \tau j_p T - M + \bar{M} \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $T$ ,  $S$ ,  $P$  – соответственно, концентрации сбраживаемого навоза, субстрата и продукта метаболизма, кг/т;

$\tau$  – продолжительность анаэробного сбраживания;

$\mu$  и  $\dot{\mu}$  – удельные скорости роста и метаболизма биомассы сбраживаемого субстрата, сут.<sup>-1</sup>;

$j_s$  и  $j_p$  – удельные скорости разложения субстрата и образования продукта метаболизма, сут.<sup>-1</sup>;

$V$  и  $\bar{V}$  – скорости разложения субстрата и образования продукта метаболизма, кг/т сут.;

$M$  и  $\bar{M}$  – скорости массообмена субстрата и продуктов метаболизма при переходе из одной фазы в другую, кг/т сут.

Для устойчивой работы биоэнергетической установки требуется только постоянство температурного режима, поэтому исключаются дополнительные подогревающие устройства. В целях интенсификации процесса в психрофильном режиме при запуске биоэнергетических установок используется закваска, обсемененная мезофильными метаногенными микроорганизмами, адаптированными к психрофильным условиям [9].

На территории Якутии в данное время имеется 297 труднодоступных населенных пунктов, где проживает 542500 тыс. чел. Труднодоступность заключается в том, что в большинстве случаев до них наземным путем можно доехать только по зимним дорогам. Весь необходимый ресурс – продукты, товары, топливо и т.д. завозят зимой и не всегда в полном объеме. Поэтому в период распутицы – весной и осенью – остро встает вопрос нехватки ресурсов, в том числе и топливная проблема.

Одним из путей решения нехватки топлива явилось бы внедрение биогазовой технологии по утилизации сельскохозяйственных отходов. Как известно, в результате использования биогазовой технологии производится не только качественное удобрение, но и сопутствующий продукт в виде биогаза. Биогаз можно напрямую сжигать в котлах отопления, превращать в электричество, а также после соответствующей очистки заправлять автотранспорт.

**Цель** исследования – внедрение биогазовой технологии в летних фермах для создания стационарных мини-электро-

станций по использованию пастбищ дальних и заброшенных сельхозугодий.

**Задачи** исследования:

- 1) провести анализ эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения под летники на примере Таттинского района Республики Саха (Якутия);
- 2) выявить негативные факторы, сдерживающие производство молока;
- 3) провести натурные исследования в условиях фермерских хозяйств;
- 4) рассчитать ожидаемый эффект от внедрения биогазовой технологии в планируемых летниках Таттинского района.

#### **Материалы, методы и объекты исследования**

Животноводческие фермы, находящиеся непосредственно в населенных пунктах (фермерские хозяйства), производят не только товарную продукцию – молоко, мясо, но и отходы в виде бесподстилочного навоза. В настоящее время навоз не обеззараживается и не перерабатывается – отсутствуют системы по его переработке. Низкие температуры способствуют сохранению патогенной, болезнетворной микрофлоры и семян сорных растений в хранилищах навоза, а весной с талыми водами они попадают в реки и озера. Земли поселений, открытые водоемы интенсивно загрязняются органическими и биогенными веществами навоза животных. Происходит разрушающее воздействие необработанным бесподстилочным навозом на хрупкую природу Якутии, обостряемое обратной реакцией вечной мерзлоты. Следует отметить, что пастбища вокруг населенных пунктов утоптаны, не проводятся мелиоративные работы по их реанимации, с каждым годом увеличивается степень их

истощения. И итоге, все это отражается на продуктивности коров – недостаточная кормовая база сразу же влияет на снижение молокоотдачи коров и ухудшение качества производимого мяса.

По данным Министерства сельского хозяйства Республики Саха (Якутия), земли сельскохозяйственного назначения от общего земельного фонда республики составляют 6,31%, т.е. 19446,4 тыс. га [10]. И при этом эффективность использования земель сельскохозяйственного назначения имеет регрессирующий характер. Это, в первую очередь, связано с климатическими особенностями нашего региона, а во вторую – с отсутствием электролиний на дальних территориях с высокой травянистой растительностью.

Повышения удоя коров можно добиться путем организации дополнительных летников (сайылыков). Как уже выше отмечалось, отсутствие электролиний на землях с достаточными пастбищными угодьями исключает возможность вывоза коров на эти места. Данную проблему можно разрешить путем внедрения биогазовой технологии на летних фермах – перерабатывать навоз, получая при этом органическое удобрение и преобразуя биогаз в электричество.

Для территории Республики Саха (Якутия) месяцы июнь-сентябрь являются максимально эффективными по объемам удоя. На это влияют не только луговая растительность, но и существующее в данное время некоторое количество летних ферм [10].

Летнее пастбищное содержание оказывает благотворное воздействие на физиологическое состояние животного, формирует оптимальные запасы жизненно значимых питательных веществ в организме

животных. На выпасе крупный рогатый скот максимально впитывает энергию солнечных лучей, чистого воздуха, осуществляет активное движение.

На наш взгляд, имеются следующие факторы, негативно влияющие на производство сельскохозяйственной продукции в республике:

- последние годы фермерские хозяйства сосредоточены в основном крупных селах, где имеется стабильная электросеть;
- отсутствие кормовой базы;
- малое количество летников.

На примере Таттинского района республики нами проведен анализ эффективности использования летников. Всего имеется 12 летников, где содержится 2186 коров. За месяц с их отходов можно произвести 79580,8 м<sup>3</sup> биогаза, который преобразуется в 147224,5 кВт\*ч электроэнергии. Кроме этого, можно получать ежемесячно 1097712 т качественного органического удобрения.

### Результаты исследований

Эффективность использования летников характеризуется по количеству удоя молока. По данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Саха (Якутия), удои молока Таттинского за последние 3 года составили:

- в зимние месяцы – среднее значение 900 кг/год (7112 гол.);
- в летние месяцы – среднее значение 1500 кг/год (2186 гол.)

В условиях Якутии коровы 8 месяцев содержатся в коровниках, чуть более 3 месяцев – переходят на летнее содержание. Однако за долгие 8 зимних месяцев в среднем получают 900 кг/год с коровы, а за короткий летний сезон –

1500 кг/год с одной гол. Средний годовой удой при этом составляет 1002 кг с 1 коровы.

Таким образом, вышеприведенные расчеты показывают эффективность вывоза коров на летние лагеря, где животные пасутся на территории фермы. Тем самым они не расходуют энергию на ходьбу на достаточно протяженные расстояния – от пастбищ до населенных пунктов.

Для увеличения количества летников, на наш взгляд, необходимы два пути:

1. Подвести линии электросетей, на что нужны огромные финансовые вложения. Проведены расчеты по требуемым вложениям – для подведения линий электропередачи в 10 летниках района будет необходимо 285959880 руб.

2. Внедрение альтернативной энергетики в летних фермах. При расчетах стоимости биогазовой технологии для внедрения в

одно хозяйство нужно 200000 руб. Тогда, общие затраты составят 2400000 руб. [11, 12].

### Выводы

Для применения в частных летниках Якутии, где количество животных не более 50 голов, нами предлагается технология, содержащая следующий перечень оборудования (рис.).

При стоимости предлагаемой биогазовой технологии в 200000 руб. (на один летник) затраты составят 2400000 руб., что ощутимо дешевле вложений на подвод ЛЭПов в труднодоступные земельные участки.

Индивидуальные хозяйства могут оценить выгоды от строительства биогазовой установки на основании денежного дохода, который они получают от использования продуктов переработки отходов по сравнению с затратами на установку.



**Рис. Оборудование, входящее в технологическую линию адаптированной психрофильной технологии:**

**1 – метантенк объемом 1 м<sup>3</sup>; 2 – газгольдер; 3 – компрессор; 4 – фильтр; 5 – газовый баллон; 6 – газовый генератор; 7 – электричество**

**Библиографический список**

1. Баадер, В. Биогаз: Теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. – Москва: Колос, 1982. – 148 с. – Текст: непосредственный.
2. Веденев, А. Г. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике / А. Г. Веденев, Т. А. Веденева / ОФ «Флюид». – Барнаул.: Типография «Полиграфоформление», 2006. – 90 с. – Текст: непосредственный.
3. Гюнтер, Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфраб. – Москва: Стройиздат, 1991. – 128 с., ил. – Текст: непосредственный.
4. Ковалев А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 / А. А. Ковалев. – Москва, 2014. – 119 с. – Текст: непосредственный.
5. Ковалев, В. В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии / В. В. Ковалев, Д. В. Унгурияну, О. В. Ковалева. – Текст: непосредственный // Проблемы региональной энергетики. – 2012. – № 1. – С. 102-114.
6. Панцхава, Е. С. Биогаз – высокорентабельное топливо для всех регионов России / Е. С. Панцхава, М. М. Шипилов, А. П. Пауков, Н. Д. Ковалев. – Текст: непосредственный // Новости тепло-снабжения. – 2008. – № 1. – С. 20-23.
7. Друзьянова, В. П. Энергосберегающая технология переработки навоза крупного рогатого скота: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Друзьянова В. П. – Улан-Удэ, 2016. – 281 с. – Текст: непосредственный.
8. Ресурсосберегающая технология производства экологически чистых органических удобрений / В. П. Друзьянова, С. А. Петрова, М. К. Охлопкова, Ю.А. Сергеев. – Дуна. 2018. Т. 93. № 4. – С. 398-403. – Текст: непосредственный.
9. Земсков, В. И. Проектирование технических систем производства биогаза в животноводстве: учебное пособие / В. И. Земсков, И. Ю. Александров. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 312 с. – Текст: непосредственный.
10. Даянова, Г. И. Анализ эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения: материалы из заседания научно-координационного совета ФГБНУ Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. – Якутск, 2015. – Текст: непосредственный.
11. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vozobnovlyaemoj-energetiki-mify-i-fakty> (дата обращения 25.03.2020).
12. Экономическая оценка биогазовых технологий.[электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.diagram.com.ua/list/alter-energy/alter-energy037.shtml> (дата обращения 25.03.2020).

**References**

1. Baader, V. Biogaz: Teoriya i praktika / V. Baader, E. Done, M. Brennderfer. – Moskva: Kolos, 1982. – 148 s.
2. Vedenev A.G, Biogazovye tekhnologii v Kyrgyzskoy Respublike / A.G. Vedenev, T.A. Vedeneva // OF «Flyuid». – Bishkek: Tipografiya «Poligrafoformlenie», 2006. – 90 s.
3. Gyunter L.I., Goldfarb L.L. Metantenki. – Moskva: Stroyizdat, 1991. – 128 s.
4. Kovalev A.A. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti biogazovykh ustanovok: dis. ... k-ta tekhn. nauk: 05.20.01 / A.A. Kovalev. – Moskva, 2014. – 119 s.

5. Kovalev V.V. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sovershenstvovaniya protsessov biogazovoy tekhnologii / V.V. Kovalev, D.V. Unguryanu, O.V. Kovaleva // Problemy regionalnoy energetiki. – 2012. – No. 1. – S. 102-114.

6. Pantskhava E.S. Biogaz – vysokorentabelnoe toplivo dlya vseh regionov Rossii / E.S. Pantskhava, M.M. Shipilov, A.P. Paukov, N.D. Kovalev // Novosti teplosnabzheniya. – 2008. – No. 1. – S. 20-23.

7. Druzyanova V.P. Energoberegayushchaya tekhnologiya pererabotki navoza krupnogo rogatogo skota: dissertatsiya ... dokt. tekhn. nauk. – Ulan-Ude, 2016. – 281 s.

8. Resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva ekologicheskikh chistykh organicheskikh udobreniy / Druzyanova V.P., Petrova S.A., Okhlopko M.K., Sergeev Yu.A. // Dyna. – 2018. – T. 93. No.4. – S. 398-403.

9. Proektirovanie tekhnicheskikh sistem proizvodstva biogaza v zhivotnovodstve: uchebnoe posobie / V.I. Zemskov, I.Yu. Aleksandrov. – Sankt-Peterburg: Lan, 2017. – 312 s.

10. Dayanova G.I. Analiz effektivnosti ispolzovaniya zemel selskokhozyaystvennogo naznacheniya: materialy iz zasedaniya nauchno-koordinatsionnogo soveta FGBNU Yakutskiy nauchno-issledovatel'skiy institut selskogo khozyaystva. – Yakutsk, 2015.

11. Effektivnost vozobnovlyaemoy energetiki. Mify i fakty [elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vozobnovlyaemoy-energetiki-mify-i-fakty> (data obrashcheniya 25.03.2020).

12. Ekonomicheskaya otsenka biogazovykh tekhnologiy.[elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.diagram.com.ua/list/alter-energy/alter-energy037.shtml> (data obrashcheniya 25.03.2020).



УДК 631.22

**В.В. Садов, Н.И. Капустин, В.Н. Капустин  
V.V. Sadov, N.I. Kapustin, V.N. Kapustin**

## СТОЙЛОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ОСНОВЕ

### THE STALL EQUIPMENT FOR HOUSING YOUNG CATTLE ON COMMERCIAL BASIS

**Ключевые слова:** *стойловое оборудование, крупный рогатый скот, ресурсосбережение, безвыгульная технология, свободновыгульная технология.*

При выращивании крупного рогатого скота, во все времена, было высокое качество готового продукта при низкой себестоимости. Эти требования во многом закладываются с первых дней жизни молодняка. На сколько такие условия содержания будут созданы, зависят сохранность поголовья, привесы и качество продукции. Большую роль в решении данных

вопросов играли профильные организации в виде НИИ, которые разрабатывали оборудование и технологии к конкретным условиям и проверяли их в реальном производстве. Так, только Алтайский НИПТИЖ с 1976 по 1990 г. разработал более 80 вариантов проектных предложений по технологии и механизации помещений для содержания молодняка КРС возрастом от 0,5 до 16 месяцев. Наибольшую популярность в хозяйствах получили: безвыгульные технологии с возрастом телят до 2 мес. и от 2 до 6 мес. с подогреваемыми боксами и естественным вентилированием зоны кормления; свободновыгуль-