

9. Пепеляева, Е. В. Повышение эффективности процесса экструдирования зерна озимой ржи путем оптимизации технологических параметров и режимов работы экструдера: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Е. В. Пепеляева. – Пермь, 2016. 158 с. – Текст: непосредственный.

10. Pietsch, V., Werner, R., Karbstein, H.P., Emin, M.A. (2019). High moisture extrusion of wheat gluten: Relationship between process parameters, protein polymerization, and final product characteristics. *Journal of Food Engineering*. 259: 3-11.

References

1. Babayan I.V., Vasileva O.A., Voloshchuk L.A. Osobennosti razvitiya selskogo khozyaystva // Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava. – 2019. – No. 5. – S. 19-23.

2. Gaganov A. Planirovanie kormovoy bazy v skotovodstve // Effektivnoe zhivotnovodstvo. – 2016. – No. 3 (124). – S. 13-17.

3. Fominykh A.V., Mikhaylyuk E.N., Fomina S.V., Kovshova N.A. Metodika rascheta pnevmotransportnoy ustanovki ekstrudirovannoy soi // Vestnik Kurganskoy GSKhA. – 2019. – No. 2 (30). – S. 78-80.

4. Ignatenkov V.G. Povysenie effektivnosti proizvodstva vitaminno-kormovoy dobavki na osnove sapropelya putem obosnovaniya konstruktivnykh i tekhnologicheskikh parametrov smesitelya-izmelchitelya: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. – Velikie Luki, 2005. – 180 s.

5. Morozov V.V. i dr. Teoreticheskoe issledovanie mnogofunktsionalnogo shnekovogo smesitelya-izmelchitelya vitaminno-kormovoy dobavki na osnove sapropelya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 172-177.

6. Analiz fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik mnogokomponentnykh granul, poluchaemykh na diskovom press-granulyatore (sapropel+kombikorm) / V.V. Morozov [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskii progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve: sbornik dokladov XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh. – Velikie Luki, 2019. – S. 244-255.

7. Vasileva M.I., Bychkova K.V., Arzhankova Yu.V., Ignatenkov V.G. Zhivaya massa tsyplyat-broylerov pri vvedenii v ratsion ekstrudirovannoy pshenitsy otdelno i v smesi s sapropelom // Izvestiya Velikolukskoy GSKhA. – 2020. – No. 1. – S. 2-8.

8. Martynova D.V. Povysenie effektivnosti protsessy proizvodstva ekstrudirovannykh kormovykh produktov za schet izmeneniya konstruktivnykh parametrov shneka press-ekstrudera: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Orenburg, 2017. 202 s.

9. Pepelyaeva E.V. Povysenie effektivnosti protsessy ekstrudirovaniya zerna ozimoy rzihi putem optimizatsii tekhnologicheskikh parametrov i rezhimov raboty ekstrudera: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Perm, 2016. – 158 s.

10. Pietsch, V., Werner, R., Karbstein, H.P., Emin, M.A. (2019). High moisture extrusion of wheat gluten: Relationship between process parameters, protein polymerization, and final product characteristics. *Journal of Food Engineering*. 259: 3-11.



УДК 621.548

Г.Е. Кокиева, Ю.А. Шапошников, М.Ю. Дондоков
G.Ye. Kokiyeva, Yu.A. Shaposhnikov, M.Yu. Dondokov

ПОЛУЧЕНИЕ БИОГАЗА МЕТОДОМ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ

BIOGAS PRODUCTION BY ANAEROBIC FERMENTATION OF LIVESTOCK FARM WASTES

Ключевые слова: теплонасосные установки, источники энергии, солнечные установки, переработка навоза, энергия грунта, животноводческие фермы, ресурсосберегающие технологии, механизация и автоматизация, метановое сбраживание, водоснабжение, биогаз, экологическая система.

Keywords: heat pump plants, energy sources, solar plants, manure processing, soil energy, livestock farms, resource-saving technologies, mechanization and automation, methane fermentation, water supply, biogas, ecological system.

На данное время существуют большие потенциальные возможности производства биогаза методом анаэробного сбраживания. Сырьем для его получения могут служить любые органические отходы сельскохозяйственного производства. Принимая во внимание, что для окружающей среды животноводческие фермы и комплексы представляют потенциальную опасность, должны быть решены вопросы переработки животноводческих стоков. Для выбора наиболее подходящего источника в заданном регионе страны целесообразно рассмотреть обеспеченность им различных сельскохозяйственных районов. Переработка навоза в анаэробных условиях обуславливает основу создания и внедрения в сельскохозяйственном производстве малоотходных и полностью безотходных технологий, предотвращает загрязнение окружающей среды. В статье приводится технология переработки животноводческих стоков анаэробным сбраживанием, которое зависит в основном от их биохимического состава. При этом переработка и утилизация животноводческих стоков с использованием биогазовых установок дают значительный социально-экономический эффект, выражаемый в улучшении условий труда, повышении культуры производства и землепользования.

At present, there are great potential opportunities for biogas production by anaerobic fermentation. Any organic waste of agricultural production may be a raw material for its production. Taking into account that livestock farms and complexes pose a potential threat to the environment, the issues of processing livestock effluents should be resolved. To select the most suitable source in a given region of the country, it is advisable to consider its availability in various agricultural regions. Manure processing under anaerobic conditions determines the basis for the creation and implementation of low-waste and completely waste-free technologies in agricultural production, and prevents environmental pollution. This paper describes the technology of processing livestock wastes by anaerobic fermentation which depends mainly on their biochemical composition. At the same time, the processing and utilization of livestock effluents using biogas plants gives a significant socio-economic effect expressed in improving working conditions, increasing the culture of production and land use.

Кокиева Галия Ергешевна, д.т.н., проф. каф. «Информационные технологии», Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск. E-mail: kokievagalia@mail.ru.

Шапошников Юрий Андреевич, д.т.н., проф. каф. «Автомобили и автомобильное хозяйство», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: u_shaposhnikov@mail.ru.

Дондиков Михаил Юрьевич, студент, Санкт-Петербургский горный университет. E-mail: dondikov_mikhail@mail.ru.

Kokiyeva Galiya Yergeshevna, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Information Technologies, Arctic State Agrotechnological University. E-mail: kokievagalia@mail.ru.

Shaposhnikov Yuriy Andreyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Automobiles and Automobile Fleet, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: u_shaposhnikov@mail.ru.

Dondikov Mikhail Yuryevich, student, St. Petersburg Mining University. E-mail: dondikov_mikhail@mail.ru.

Введение

Солнечные установки получили наибольшее применение в районах, находящихся южнее 45° северной широты. Эта зона охватывает юг Казахстана, республики Средней Азии, Кавказ и Закавказье, районы Краснодарского и Ставропольского краев, южный берег Крыма. В этих регионах количество прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность колеблется от 1340 до 1850 кВт · ч/м² в год. Годовое количество часов солнечного сияния составляет $t=2000-3000$ ч. В вопросах охраны окружающей среды от загрязнения отходами животноводческих комплексов в условиях дальнейшего их развития важную роль играет внедрение малоотходных, ресурсосберегающих технологий с механизацией и автоматизацией производственных процессов. В настоящее время существует несколько направлений переработки и утилизации сельскохозяйственных отходов и стоков. Наиболее перспективна утили-

зация их метановым сбраживанием с получением органических удобрений и биогаза. При этом переработка и утилизация животноводческих стоков с использованием биогазовых установок дают значительный социально-экономический эффект, выражаемый в улучшении условий труда, повышении культуры производства и землепользования.

Цель работы. Естественные отходы животноводства имеют большую ценность для сельскохозяйственного производства. Их использование в регионах с распыленным животноводством не представляет особых затруднений. На территории Якутии хорошо развито животноводство, в связи с этим возникает проблема утилизации навоза [1]. Это проблема возникла из-за высокой концентрации животных на ограниченной территории и нарушения равновесия между его поголовьем и площадями земельных угодий. В связи с этим целью данной работы является изучение

технологии переработки отходов животноводства путем анаэробной обработки для извлечения тепловой энергии.

Основная часть

В условиях сельскохозяйственного производства в качестве сырьевой базы может быть навоз [2]. Для оценки потенциальной энергии, заложенной в биомассе, рационально рассмотреть процесс сбраживания навоза, при котором получают биогаз (табл. 1). За счет биоэнергии, получаемой из навоза, можно сэкономить за год 26,8 млн т условного топлива. Если учитывать возможность получения биоэнергии из отходов полеводства, сточных вод и бытовых отходов, то эта цифра возрастает до 40 млн т. Для сравнения отметим, что общая годовая потребность бытового сектора сельского населения составляет около 80 млн т условного топлива.

При переработке навоза в анаэробных условиях резко снижаются порог его запаха, всхожесть семян сорных растений, гибнут гельминты, практически полностью сохраняются питательные вещества (азот, фосфор, калий). Получаемый биологический газ содержит до 70% метана, теплотворная способность составляет 24 МДж/м³. При этом решается задача защиты окружающей среды. Определение показателей, характеризующих эффективность технологий, связано со значительными трудностями. При сбраживании выделяется биогаз, который по газопроводу отводится в газгольдер или через водяной затвор сбрасывается в атмосферу [2]. Из газгольдера биогаз подается (по мере надобности) потребителям.

По результатам исследований можно сделать вывод, что использовать биогаз в двигателях внутреннего сгорания целесообразно после предварительной очистки от углекислого газа и сернистых соединений. Испытания установки показали

удовлетворительную работоспособность метантенка, газгольдера, устройства для предварительного нагрева навоза, линии его подачи, а также системы автоматики и контроля за технологическим процессом [3]. Биоэнергетическая установка может перерабатывать навоз, получаемый от 30 условных животных в сутки. На рисунке показана схема биоэнергетической установки для фермы на 400 животных. Расход энергии на собственные нужды составил на мезофильном режиме 59-62%, в отдельных случаях – 70, по расчету – 16-24%. Такое несоответствие можно объяснить сравнительно высокими теплотерями в экспериментальной установке по сравнению с крупными промышленными образцами [4]. На эффективность процесса значительно влияют климатические условия [5].

Исходные данные приняты в соответствии с нормами на технологическое проектирование, согласно которым на ферме, где содержат 430 условных животных, выход экскрементов в сутки составляет 23,7 м³, общий выход стоков – 54,8 м³/сут. при влажности до 95%. Техническими требованиями предусмотрено, что анаэробная переработка – поточный процесс с циклическим выполнением операций [6].

Навоз из животноводческих помещений поступает в приемник очищенным от посторонних механических включений на отделителе производительностью 100 м³/ч.

Общее количество навоза для ежесуточного сбраживания $G_n = 35,48$ м³ при влажности 92%. Сбраживание происходит на мезофильном режиме (33-35°C). Постоянная температура поддерживается с помощью водяной системы отопления межстенного пространства метантенка [7]. Таким образом, компенсируются и теплотери сквозь ограждающие его поверхности.

Таблица

Процесс анаэробного сбраживания навоза

Ферма	Время экспозиции, сут.	Распад органического вещества, %	Энергия получаемого биогаза, млн т условного топлива
Крупного рогатого скота	9	25,9	16,9
Свиноводческая	8	45,9	2,5
Птицеводческая	43	44,0	7,4
Всего	-	-	26,8

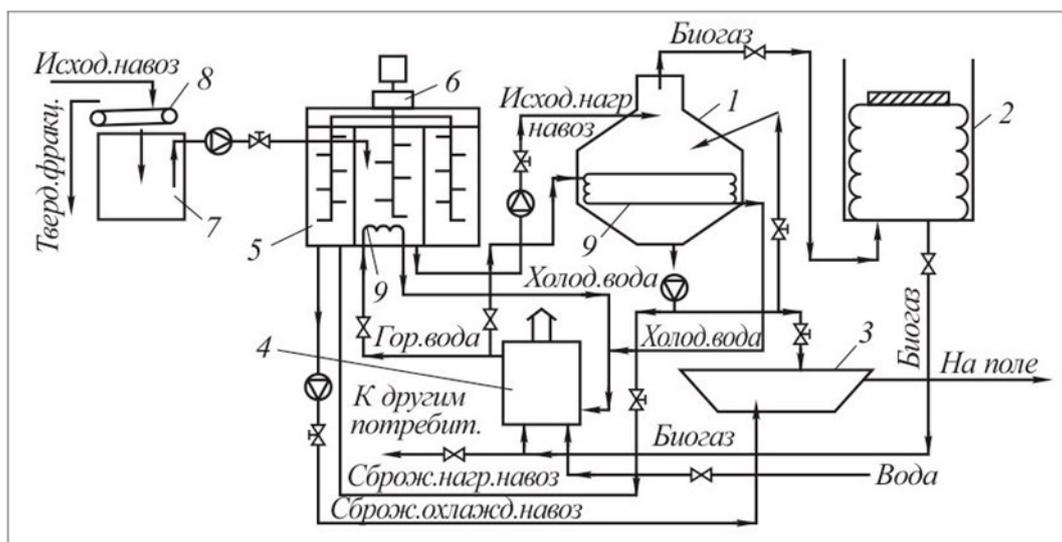


Рис. Схема биоэнергетической установки для фермы на 400 животных:
 1 – метантенк; 2 – сухой газгольдер; 3 – навозохранилище; 4 – водонагреватель;
 5 – емкость-теплообменник для предварительного нагрева навоза; 6 – мешалка;
 7 – накопитель исходного навоза; 8 – отделитель посторонних включений; 9 – теплообменник

Из метантенка биогаз направляется в сухой газгольдер объемом 600 м³, откуда по мере необходимости используется для подогрева воды и на другие нужды фермы. Сброженная масса через шлюзовую камеру поступает в хранилище и в теплообменник для подогрева исходной массы [8].

Навоз самотеком поступает в приемный резервуар насосной станции, откуда по мере накопления фекальными насосами направляется в резервуары для разложения [9].

Следует отметить, что несмотря на достаточно большое число существующих систем теплоснабжения на базе нетрадиционных источников энергии для индивидуальных домов четких принципов проектирования таких схем с учетом стоимости отпускаемой энергии пока не разработано. Многие дома фактически являются домами-лабораториями, предназначенными для поиска оптимальных решений при проектировании таких систем [10].

Заключение

Таким образом, из 1 т навоза влажностью 88-90% можно получать 20-35 м³ биогаза и полноценное дезодорированное органическое удобрение, в котором отсутствуют гельминты и патогенные микроорганизмы. Биоэнергии хватит для того, чтобы обеспечить 50%-ное теплоснабжение сельских жилых домов. Причем для 90%-ного обеспечения тепловой энергией одного сельского дома рассматриваемого типа требуется около 15 т навоза в год.

Библиографический список

1. Шарифуллин, В. Н. Связь перемешивания и массопередачи на примере барботажно-эрлифтного аппарата / В. Н. Шарифуллин, А. И. Бояринов, А. М. Гумеров. – Текст: непосредственный // Массообменные процессы и аппараты химической технологии. – Казань, 1980. – С. 17-18.
2. Шебатин, В. Г. Эрлифтное транспортирование жидкостей и суспензий / В. Г. Шебатин, И. В. Доманский [и др.]. – Текст: непосредственный // ЖРХ. – 1977. – № 4. – С. 86-87.
3. Динамика взаимодействия частицы туков и лопасти в процессе перемешивания / Ю. А. Шапошников, Н. А. Чернецкая, Н. А. Кулагина [и др.]. – Текст: непосредственный // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 2 (225). – С. 66-71.
4. Кокиева, Г. Е. Анализ технологии измерения рабочих поверхностей при дефектации аппаратов для культивирования микроорганизмов / Г. Е. Кокиева. – Текст: непосредственный // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 3.
5. Кокиева, Г. Е. Эксплуатация ферментатора в сельском хозяйстве: монография / Ю. А. Кокиева, И. Б. Шапошников, Б. И. Шагдыров; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – 103 с. – Текст: непосредственный.
6. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента / Х. Шенк; перевод с английского Е. К. Коваленко. – Москва: Мир, 1972. – 384 с. – Текст: непосредственный.
7. Патент 2580160 Российская Федерация, МПК А 23 К 10/12, А 23 К 10/37. Способ пригото-

ления кормовых дрожжей / Кокиева Г. Е., Шагдыров, И. Б., Шагдыров, Б. И., Болохоев, В. С.; Заявитель и патентообладатель Бурят. гос. с.-х. академ. им. В. Р. Филиппова. – № 2014127112/13; заявл. 02.07.14; опубл. 10.04.16, Бюл. № 10. – 7 с.: ил. – Текст: непосредственный.

8. Черноиванов, В. И. Совершенствование техники: автореферат диссертации доктора технических наук / Черноиванов В. И. – Л., 1984. – 54 с. – Текст: непосредственный.

9. Эрлифтное транспортирование жидкостей и суспензий В. Г. Шебатин, И. В. Доманский [и др.]. – Текст: непосредственный // ЖРХ. – 1977. – № 4. – С. 86-87.

10. Черноруцкий, И. Г. Методы оптимизации в теории управления: учебное пособие / И. Г. Черноруцкий. – Санкт-Петербург: Питер, 2004. – 256 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Sharifullin, V.N., Boyarinov, A.I., Gumerov, A.M. Svyaz peremeshivaniya i massoperedachi na primere barbotazhno-erliftного apparatusa // Massoobmennye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. – Kazan, 1980. – S. 17-18.

2. Shebatin, V.G., Domanskiy, I.V. i dr. Erliftnoe transportirovanie zhidkostey i suspenziy // ZhRKh. – 1977. – No. 4. – S. 86-87.

3. Shaposhnikov, Yu.A. Dinamika vzaimodeystvie chastitsy tukov i lopasti v protsesse peremeshivaniya / Shaposhnikov Yu.A., Chernetskaya N.A., Kulagina

N.A., Kantor, S.A. // Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. – 2012. – No. 2 (225). – S. 66-71.

4. Kokieva, G.E. Analiz tekhnologii izmereniya rabochikh poverkhnostey pri defektatsii apparatov dlya kultivirovaniya mikroorganizmov // Nauchno-tekhnicheskoy Vestnik Povolzhya. – 2014. – No. 3.

5. Kokieva, G.E. Ekspluatatsiya fermentatora v selskom khozyaystve: monografiya / G.E. Kokieva, Yu.A. Shaposhnikov, I. B. Shagdyrov; Alt. gos. tekhn. un-t im. I.I. Polzunova. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2016. – 103 s.

6. Shenk, Kh. Teoriya inzhenerного eksperimenta // per. s angl. E.K. Kovalenko. – Moskva: Mir, 1972. – 384 s.

7. Kokieva, G.E. Pat. 2580160 Rossiyskaya federatsiya, MPK A 23 K 10/12, A 23 K 10/37. Sposob prigotovleniya kormovykh drozhzhey / Kokieva G.E., Shagdyrov, I.B., Shagdyrov, B.I., Bolokhоеv, V.S.; Zayavitel i patentoobladatel Buryat.gos. s.-kh. akad. im. V.R. Filippova. – No. 2014127112/13; заявл. 02.07.14; опубл. 10.04.16, Бюл. No. 10. – 7 с.: ил.

8. Chernoivanov, V.I. Sovershenstvovanie tekhniki: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. – Leningrad, 1984. – 54 s.

9. Shebatin, V.G., Domanskiy, I.V. i dr. Erliftnoe transportirovanie zhidkostey i suspenziy // ZhRKh. – 1977. – No. 4. – S. 86-87.

10. Chernorutskiy, I.G. Metody optimizatsii v teorii upravleniya: uchebnoe posobie. – Sankt-Peterburg: Piter, 2004. – 256 s.

