

Научная статья

Original article

УДК: 631.3.001.4

DOI 10.55186/25876740\_2022\_6\_5\_34

## **УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА С ПОЛУЧЕНИЕМ БИОГАЗА**

### **UTILIZATION OF ANIMAL HUSBANDRY WASTE WITH THE PRODUCTION OF BIOGAS**



**Апажев Аслан Каральбиевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая механика и физика», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный аграрный университет им. В.М.Кокова (360030 Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в) e-mail: [kbr.apagev@yandex.ru](mailto:kbr.apagev@yandex.ru)

**Фиापшев Батыр Амурович**, аспирант; кафедры «Техническая механика и физика», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный аграрный университет им. В.М.Кокова (360030 Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в) e-mail: [energo.kbr@rambler.ru](mailto:energo.kbr@rambler.ru)

**Кумахов Аслан Анатольевич**, к.с.-х.н, .доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный аграрный университет им. В.М.Кокова (360030 Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в) тел. 89889362417, ORCID: [http://orcid.org/ .....kymahov071@mail.ru](http://orcid.org/.....kymahov071@mail.ru)

**Кильчукова Олеся Хаутиевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятия», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный аграрный университет им. В.М.Кокова (360030 Россия, КБР, г.

Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: [energo\\_80@mail.ru](mailto:energo_80@mail.ru)

**Хамоков Марат Мухамедович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятия», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный аграрный университет им. В.М.Кокова (360030 Россия, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в), e-mail: [h-mm\\_1@mail.ru](mailto:h-mm_1@mail.ru)

**Aslan K. Apazhev**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Technical Mechanics and Physics", Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M.Kokov (360030 Russia, KBR, Nalchik, Lenin Ave., 1b), e-mail: [kbr.apagev@yandex.ru](mailto:kbr.apagev@yandex.ru)

**Batyr A. Fiapshev**, postgraduate student; Department of "Technical Mechanics and Physics", FSBEI HE Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M.Kokov (360030 Russia, KBR, Nalchik, Lenin Ave., 1b), e-mail: [energo.kbr@rambler.ru](mailto:energo.kbr@rambler.ru)

**Aslan A. Kumakhov**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department "Energy Supply of Enterprises", Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M.Kokov (360030 Russia, KBR, Nalchik, Lenin Ave., 1b) tel. 89889362417, e-mail: [kymahov071@mail.ru](mailto:kymahov071@mail.ru)

**Olesya K. Kilchukova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Energy Supply of the enterprise", Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M.Kokov (360030 Russia, KBR, Nalchik, Lenin Ave., 1b), e-mail: [energo\\_80@mail.ru](mailto:energo_80@mail.ru)

**Marat M. Khamokov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Energy Supply of the enterprise", Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M.Kokov (360030 Russia, KBR, Nalchik, Lenin Ave., 1b), e-mail: [h-mm\\_1@mail.ru](mailto:h-mm_1@mail.ru)

**Аннотация.** Для создания материально-технической базы сельского хозяйства необходимо широкое внедрение новых технологий использования

сельскохозяйственных отходов, на которые приходится значительная доля местных возобновляемых источников энергии, комплексная механизация и автоматизация производственных процессов, а также специализация и кооперация на всех этапах. Перспективным направлением обеспечения сельскохозяйственных предприятий дешевыми источниками энергии является переработка биологических масс и производство биогаза, использование сельскохозяйственных отходов, отходов растениеводства, животноводства и птицеводства. Как возобновляемый ресурс биогаз, получаемый из сельскохозяйственных отходов, приобретает все большее значение. Утилизация вышеупомянутых органических и неорганических отходов является серьезной проблемой защиты окружающей среды, а использование биогазовых установок в качестве установок для получения альтернативных энергоресурсов является наиболее перспективным направлением их переработки. Использование установок для производства биогаза в качестве альтернативного источника энергии во многом определяется их конструктивными свойствами и отработанными технологическими процессами. В этой статье обсуждается использование сельскохозяйственных отходов для производства биогаза, выбор технологического процесса биопереработки навоза, конструктивно-технологических параметров разрабатываемой и совершенствуемой биогазовой установки. В зависимости от температуры процесса анаэробное сбраживание разделяют на психрофильное (температура до 30°C), мезофильное (35...40°C) и термофильное (более 50°C). Поскольку при естественном разложении жидкого навоза, как и других органических отходов, выделяется метан, который является одним из парниковых газов, его переработка актуальна с экологической точки зрения, так как метан производится в качестве энергоносителя, а твердая и жидкая перебродившая масса - используется как удобрение.

**Abstract** To create the material and technical base of agriculture, it is necessary to widely introduce new technologies for the use of agricultural waste, which account for a significant share of local renewable energy sources, complex mechanization and

automation of production processes, as well as specialization and cooperation at all stages. A promising direction of providing agricultural enterprises with cheap energy sources is the processing of biological masses and the production of biogas, the use of agricultural waste, waste from crop production, animal husbandry and poultry farming. As a renewable resource, biogas obtained from agricultural waste is becoming increasingly important. Utilization of the above-mentioned organic and inorganic waste is a serious problem of environmental protection, and the use of biogas plants as plants for obtaining alternative energy resources is the most promising direction of their processing. The use of biogas plants as an alternative energy source is largely determined by their design properties and proven technological processes. This article discusses the use of agricultural waste for the production of biogas, the choice of the technological process of manure processing, the design and technological parameters of the biogas plant being developed and improved. Depending on the temperature of the process, anaerobic digestion is divided into psychrophilic (temperature up to 30 ° C), mesophilic (35 ... 40 °C) and thermophilic (more than 50 ° C). Since the natural decomposition of liquid manure, as well as other organic waste, releases methane, which is one of the greenhouse gases, its processing is relevant from an ecological point of view, since methane is produced as an energy carrier, and solid and liquid fermented mass is used as fertilizer.

**Ключевые слова:** отходы сельскохозяйственного производства; анаэробное сбраживание; биогазовая установка, биогаз.

**Key words:** agricultural waste; anaerobic digestion; biogas plant, biogas.

### **Введение**

Отходы растениеводства в общей массе сухого вещества имеют долю органической массы 95...98% при теплоте сгорания 16...19 МДж/кг сухого вещества, навоз крупного рогатого скота соответственно 77% и 18...19 МДж/кг сухого вещества, навоз свиней 88% и 18...19 МДж/кг сухого вещества, помет кур 77% и 14...16 МДж/кг сухого вещества. Отходы сельскохозяйственного

производства сжигают в теплогенераторах или газифицируют посредством анаэробного сбраживания для получения генераторного газа (биогаза - метана) для работы двигателей внутреннего сгорания.

### **Методы**

В сброженном навозе увеличивается усвояемость фосфора и калия, а также появляются вещества, благоприятно влияющие на рост растений. Сброженный навоз разлагается медленно и в незначительной степени.

Сброженный жидкий навоз можно использовать для подкормки лугов и пастбищ отгонного животноводства даже в засушливый период. После подкормки сброженным жидким навозом ценные компоненты травостоя (злаковые и бобовые) вытесняют широколистные сорняки. При этом значительно уменьшается загрязнение окружающей среды[1-4].

### **Экспериментальная база**

В аэробных условиях биотермические процессы происходят с образованием аммиака, который улетучивается, а жижа уносит растворимые соединения фосфора и калия. После этого происходит метановое брожение с образованием горючего газа. Метаболическая активность и репродуктивная способность микроорганизмов зависят от температуры, которая имеет два предела (37 и 55°C) и влияет на содержание горючего газа.

При штабельном хранении навоза теряется до 50% от энергии исходного сырья, а при анаэробном способе не более 10%. Из 1 т навоза получают 30...60 м<sup>3</sup> газа. Выход газа при температуре 55°C, к количеству разложившейся органической массы составляет 0,5...0,7 м<sup>3</sup> на 1 кг, а к единице закладываемой массы 0,4...0,6 м<sup>3</sup> на 1 кг, то есть разлагается лишь 40...50% всей органической массы. Помет кур при клеточном содержании дает выход биогаза 1,3...1,4 м<sup>3</sup> на 1 кг, а помет при напольном содержании обеспечивает выход биогаза около 0,8 м<sup>3</sup> на 1 кг.

На выход газа помимо температуры значительное влияние оказывает количество загружаемой массы по времени и объему реактора (метантенка), время цикла брожения и интенсивность перемешивания. Количество добавляемого вещества в реактор, должно соответствовать разложившемуся органическому веществу для достижения температуры брожения 55°C.

### **Результаты и обсуждения**

В настоящее время в производственных условиях работают БГУ, в камеру сбраживания которых свежий субстрат подаётся непрерывно или через короткие промежутки времени; при этом каждый раз объем загружаемого навоза должен соответствовать объему перебродившего навоза. Такая технологическая схема при непрерывности процесса метаногенеза позволяет достичь наиболее высокой производительности биогазовой установки.

Периодическая, или цикличная, система использования реакторов, которых обычно два или несколько, предполагает попеременное их заполнение свежим неперебродившим субстратом. Обязательным является неполное освобождение реактора от сброженного субстрата. В этом случае оставшееся количество шлама играет роль затравки, и через несколько дней после заполнения бродильной камеры начинается метаногенез, интенсивность которого, достигнув максимума постепенно снижается. Для непрерывной и равномерной подача газа потребителю при такой системе работы необходимо объединить несколько реакторов в блок.

В системах с периодической работой двух или более одинаковых и последовательных метантенков опорожнение производят полностью за исключением заправочного шлама. Такая система требует газгольдера (газового аккумулятора), и её потенциальная производительность используется не полностью. Однореакторные системы с накоплением газа и шлама содержат шлам до вывозки в поле и полностью не опорожняются. Газовый потенциал в таких схемах используется частично.

Биореактор должен иметь герметичные коррозионно-стойкие стенки, надежную теплоизоляцию, надёжные устройства загрузки и опорожнения.

Наиболее распространенная форма биореактора цилиндрическая, однако для улучшения статической прочности, снижения энергозатрат на перемешивание, вывода перебродившей массы и разрушение поверхностной корки предпочтение отдаётся яйцеобразной форме. Реактор заглубляют в полусферическую выемку в грунте или помещают внутри жёсткого ограждения на поверхности.

Источником теплоты для биогазовой установки для подогрева воды в теплообменнике, может служить биогаз. Кроме того, можно применить теплоту перебродившей массы для предварительного подогрева загружаемой массы с использованием рекуператорных теплообменных аппаратов[5-8].

Нагрев биомассы до температуры протекания термофильного режима брожения и компенсации теплопотерь, а также для подогрева воды теплообменника, в двигателе внутреннего сгорания и привода электрогенератора используют биогаз [9-11]. Отбросную теплоту газового двигателя можно использовать в теплообменнике.

При использовании в качестве субстратов для метанового брожения отходов, содержащих хорошо растворимые органические соединения, цикл ферментации можно сократить с 5 суток до 15 ч.

Являясь строгими анаэробами, метаногены необходимую для обеспечения жизнедеятельности энергию черпают в реакциях, сопровождающихся биосинтезом метана. В качестве субстратов большинство бактерий-метаногенов использует диоксид углерода и водород.

Для восстановления диоксида углерода в метан почти все известные метаногены используют 4 пары электронов, образующихся при окислении молекулярного водорода. При этом освобождается образующийся метан[12,13]. Из биомассы, созданной в результате фотосинтетической деятельности растений, в анаэробных условиях с участием метангенерирующих бактерий

образуются метан и углекислый газ.

Время протекания процесса брожения при периодической работе, выработка газа на 20...25% больше, чем при непрерывной работе установки. Основными компонентами биогеоценоза являются  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ , сжижение которых ввиду разности критических значений давления и температуры нецелесообразно.

При сбраживании происходит распад биологически нестабильных органических веществ, благодаря чему масса лишается запаха, свойственного исходному субстрату – питательной среде для анаэробных бактерий.

Выделение биогаза интенсифицируют добавлением к свиному навозу отходов переработки зелёной массы, а в случае переработки отходов с большим содержанием соломы, навоза крупного рогатого скота. При наличии в одном комплексе линий фракционирования зелёной массы, химической обработки соломы и биоэнергетической установки можно обеспечить производство сухого белкового концентрата, пригодного для длительного хранения. При комплексной биоконверсии растительного сырья биогаз можно рационально использовать в течение года летом для переработки зелёной массы, зимой для термохимической обработки и в тепловых установках. Схема использования отходов на ферме приведена на рисунке 1.

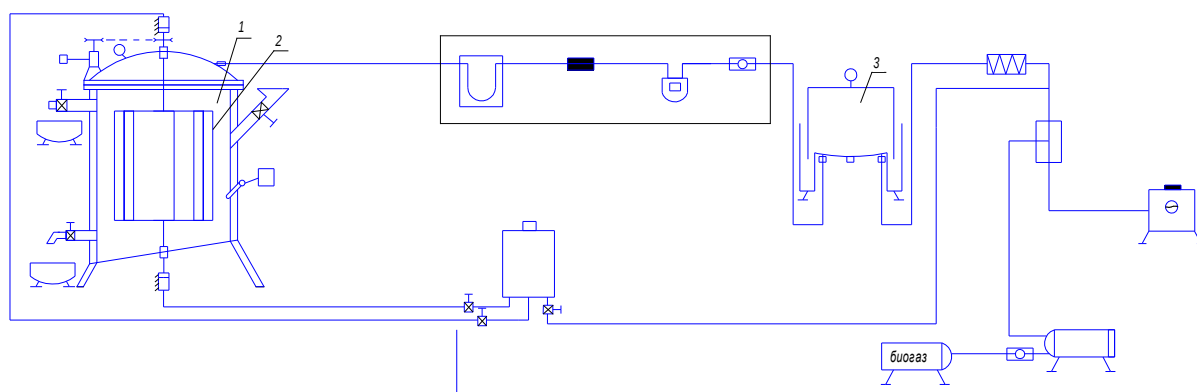


Рисунок 1 – Технологическая схема использования отходов на ферме с получением биогаза

1 - биореактор; 2 - теплообменник-мешалка; 3 - газгольдер

### **Область применения**

Для развития сельской энергетики и процесса приготовления органических удобрений

### **Выводы**

Совершенно очевидно, что решение задачи практического освоения потенциальной энергии хотя бы части биоэнергетических ресурсов имело бы огромное значение для развития сельской энергетики, особенно если принять во внимание, что энергия их является постоянно возобновляемой и может получаться в местах её потребления, будучи побочным продуктом технологии агротехнического процесса приготовления органических удобрений.

### **Литература**

1. Фиапшев А.Г., Хамоков М.М., Кильчукова О.Х. Проблемы энергообеспечения предприятий КБР. //Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. №1 (27). С. 63-68
2. Фиапшев А.Г., Кильчукова О.Х., Хамоков М.М. Альтернативные энергоресурсы для фермерских хозяйств. // Материалы Всероссийской (национальной) конференции «Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии». Омский СХИ. 2019. С. 365-370.
3. Кильчукова О.Х., Фиапшев А.Г., Юров А.И. Альтернативная энергетика на Северном Кавказе // Вестник ВИЭСХ. 2014. № 4 (17). С. 16-19.
4. Фиапшев А.Г., Кильчукова О.Х., Хамоков М.М. Биогазовая установка для малых предприятий // Сельский механизатор. – № 2. – 2017. – С. 18–19.
5. Fiapshhev A., Hamokov M., Kilchukova O., Anikina I. Optimization of parameters and operating modes of a biomethane installation for maximum biomethane discharge // E3S Web of Conferences.- 262.- 2021.- 01029.

6. Хамоков М.М., Шекихачев Ю.А., Алоев В.З., Курасов В.С., Фиापшев А.Г., Кишев М.А. Теоретическое обоснование конструктивных и режимных параметров установки для переработки птичьего помета // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – Краснодар, 2012.– № 75. С.397-406.

7. Хамоков М.М., Шекихачев Ю.А., Алоев В.З., Курасов В.С., Фиапшев А.Г., Кишев М.А. Оптимизация режимов работы установки для переработки птичьего помета // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. – Краснодар, 2012.– №75. С.275-284.

8. Фиапшев А.Г., Кильчукова О.Х., Хамоков М.М. Проектирование биогазовой установки для малых сельскохозяйственных предприятий. // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2015. № 1 (7). С. 69-74.

9. Fiapshv A., Kilchukova O., Shekikhachev Y., Khamokov M., Khazhmetov L., Mathematical model of thermal processes in a biogas plant, MATEC Web of Conferences, Vol.212, 01032, 2018.

10. Fiapshv A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh., Mathematical model of heat transfer in the reactor of a biogas plant. Journal of Physics: Conference Series (JPCS), Vol. 1679, 052074, 2020.

11. Кильчукова О.Х., Фиапшев А.Г., Хамоков М.М., Биогазовая установка для сельскохозяйственных предприятий // Энергобезопасность и энергосбережение, № 2, 2017, С. 27-29.

12. Фиапшев А.Г., Хамоков М.М., Кильчукова О.Х., Фиапшев Б.А., Математическое описание теплообмена в биогазовой установке // Энергобезопасность и энергосбережение, № 6, 2020, С. 40-43.

13. Фиапшев А.Г., Хамоков М.М., Кильчукова О.Х., Темукуев Б.Б., Фиапшев Б.А., Оптимизация параметров и режимов работы биогазовой установки для достижения максимального выхода биометана // Энергобезопасность и энергосбережение, № 3, 2021, С. 41-45.

### Literature

1. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.H. Problems of energy supply of CBD enterprises. //Izvestiya Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2020. No.1 (27). pp. 63-68
2. Fiapshev A.G., Kilchukova O.H., Khamokov M.M. Alternative energy resources for farms. // Materials of the All-Russian (national) conference "Actual problems of environmental management, water use, agrochemistry, soil science and ecology". Omsk SCI. 2019. pp. 365-370.
3. Kilchukova O.H., Fiapshev A.G., Yurov A.I. Alternative energy in the North Caucasus // Vestnik RESKH. 2014. No. 4 (17). pp. 16-19.
4. Fiapshev A.G., Kilchukova O.H., Khamokov M.M. Biogas plant for small enterprises // Rural mechanizer. – No. 2. – 2017. – pp. 18-19.
5. Fiapshev A., Hamokov M., Kilchukova O., Anikina I. Optimization of parameters and operating modes of a biomethane installation for maximum biomethane discharge // E3S Web of Conferences.- 262.- 2021.- 01029.
6. Khamokov M.M., Shekikhachev Yu.A., Aloeov V.Z., Kurasov V.S., Fiapshev A.G., Kishchev M.A. Theoretical substantiation of constructive and operational parameters of an installation for processing bird droppings // Polythematic network electronic scientific journal of KubGAU. – Krasnodar, 2012.– No. 75. pp.397-406.
7. Khamokov M.M., Shekikhachev Yu.A., Aloeov V.Z., Kurasov V.S., Fiapshev A.G., Kishchev M.A. Optimization of the operating modes of the plant for processing bird droppings // Polythematic network electronic scientific journal of KubGAU. – Krasnodar, 2012.– No. 75. pp.275-284.
8. Fiapshev A.G., Kilchukova O.H., Khamokov M.M. Designing a biogas plant for small agricultural enterprises. //Izvestiya Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2015. No. 1 (7). pp. 69-74.
9. Fiapshev A., Kilchukova O., Shekikhachev Y., Khamokov M., Khazhmetov L., Mathematical model of thermal processes in a biogas plant, MATEC Web of Conferences, Vol.212, 01032, 2018.

10. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh., Mathematical model of heat transfer in the reactor of a biogas plant. Journal of Physics: Conference Series (JPCS), Vol. 1679, 052074, 2020.

11. Kilchukov.Kh., Fiapsheva.G., Khamokov.M., Biogas Plant for Agricultural enterprises // Energy security and Energy Conservation, No. 2, 2017, pp. 27-29.

12. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.H., Fiapshev B.A., Mathematical description of heat transfer in a biogas plant // Energy Security and Energy Conservation, No. 6, 2020, pp. 40-43.

13. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.H., Temukuev B.B., Fiapshev B.A., Optimization of parameters and operating modes of a biogas plant to achieve maximum biomethane yield //Energy Security and Energy Conservation, No. 3, 2021, pp. 41-45.

© Апажев А.К., Фиапшем Б.А., Кумахов А.А., 2022 *International Agricultural Journal*, 2022, №5, 517-528

**Для цитирования** Апажев А.К., Фиапшем Б.А., Кумахов А.А Утилизация отходов животноводства с получением биогаза //International agricultural journal, 2022, №5, 517-528