

**УТИЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
С ПОЛУЧЕНИЕМ БИОУДОБРЕНИЙ И БИОГАЗА****И. Х. Гайфуллин, З. М. Халиуллина, Б. Г. Зиганшин**

Реферат. В данной научной статье представлены возможности совершенствования инновационных энергосберегающих решений в аграрной отрасли, а также изучаются вопросы управления энергопотреблением и повышения энергоэффективности. Представлены результаты экспериментальных исследований мобильной биогазовой установки, работающей в термофильном режиме сбраживания (при температуре 55°C) органических отходов, получением биогаза и органических удобрений. Экспериментальные данные показали, что состав полученного биогаза включает: 67,8% метана (CH_4), 28% углекислого газа (CO_2), 3% водорода (H_2), 1% азота (N_2), 0,1% воды (H_2O) и сероводорода (H_2S) на уровне 0,03 %. В ходе 16-дневного исследования была оценена эффективность переработки органических отходов различных видов животноводства, в результате чего получили следующие объемы биогаза: 10 м³ из свиного навоза, 7 м³ из куриного помета, 5 м³ из конского навоза и 8 м³ из навоза крупного рогатого скота (КРС). Результаты комплексного анализа, полученного высококачественного органического удобрения по агрохимическим, микробиологическим, санитарно-паразитологическим и санитарно-энтомологическим показателям были проведены в сертифицированной лаборатории ФГБУ «Татарская межрегиональная ветеринарная лаборатория». После переработки органических отходов в биогазовой установке содержание азота в субстрате увеличилось на 3,5 раза по сравнению с исходным материалом. Значение pH полученного удобрения составило 7, что указывает на нейтральный pH. Содержание фосфора достигло 2,3%, а калия - 1,3%. Эти данные подчеркивают потенциал использования органических отходов как источника возобновляемой энергии, что может способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: режимы работы, биогаз, биоудобрение, кислотность, органические отходы, почва.

Для цитирования: Гайфуллин И. Х., Халиуллина З. М., Зиганшин Б. Г. Утилизация органических отходов сельского хозяйства с получением биоудобрений и биогаза // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. 2025. 1 (13). С. 16-23.

Введение. Современные вызовы в области экологии и энергетики и сельского хозяйства требуют комплексного подхода к решению проблем, связанных с истощением природных ресурсов и ухудшением состояния окружающей среды. Экологический кризис, сопровождающийся изменением климата, устареванием энергетической инфраструктуры и растущими требованиями к устойчивому развитию, подчеркивает необходимость перехода на возобновляемые источники энергии с более эффективными моделями потребления.

Разработка и внедрение новых технологий, которые позволяют повышать эффективность существующих технологических процессов является актуальным, включающие в себя не только использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая энергия, или получение энергии биомассы, но и совершенствование технологий по преобразованию и хранению энергии [1, 2, 3].

Инновационные разработки в области термодинамических циклов, например, цикл с регенерацией тепла, способны значительно повысить коэффициент полезного действия (КПД), энергетических установок. Это открывает новые горизонты для использования таких технологий в промышленности и коммунальном хозяйстве. Также важно сказать о необходимости перехода на более чистые виды топлива, что подразумевает разработку и использование водорода, биотоплива, биогаза

и синтетических углеводородов, которые не только снижают углеродные выбросы, но и способствуют более устойчивому развитию. Интеграция новых технологий и переход на альтернативные источники энергии представляют собой ключевые факторы минимизации негативного воздействия на экосистему и обеспечения ресурсной устойчивости. Общемировой курс на устойчивое развитие требует скоординированных усилий со стороны государств, бизнеса и научного сообщества для внедрения необходимых изменений в существующие методы производства и потребления. Сегодня энергосбережение стало не только ключевым, но и эффективным подходом к развитию энергетического сектора [4, 5, 6].

Также снижение плодородия почв становится серьезной проблемой, требующей оперативного решения. В условиях глобального изменения климата и увеличения потребительского спроса использование высокоэффективных органических удобрений приобретает особую актуальность. Органические удобрения способствуют восстановлению гумусного слоя почвы и обеспечивают питание микроорганизмов играющих основную роль в поддержании плодородности почвы. Анаэробная переработка органических отходов сельского хозяйства эффективно снижает негативное воздействие на экосистему и одновременно обеспечивает экономическую выгоду. Технология переработки органических отходов

сельского хозяйства (навоз, помет, солома и др.) в анаэробных условиях (без доступа воздуха) позволяет экологично утилизировать отходы и тем самым вырабатывать полезные продукты в виде биогаза и органического удобрения. В результате переработки органических отходов из полученного 1 м³ биогаза можно производить электроэнергию – 2-5 кВт·ч, тепло – 5-7 кВт·ч, или после предварительной очистки от различных примесей и других газов использовать в качестве топлива для транспортных средств. Биогаз является многофункциональным источником энергии, за счет которого можно переходить на более дешевые и альтернативные источники энергии [7, 8, 9].

Полученное органическое удобрение является высококачественным, обогащает почву питательными веществами, улучшает её структуру и способствует увеличению урожайности. Применяв такой способ, сельхозпроизводители могут добиться к уменьшению зависимости от химических удобрений, что, в свою очередь, снижает затраты и минимизирует риск загрязнения окружающей среды [10].

Для успешной реализации технологии анаэробной переработки необходимо учитывать несколько факторов, таких как правильный выбор субстратов, контроль за процессами ферментации и обеспечение надлежащей инфраструктуры для сбора и переработки отходов. Также требуется обучение и информирование фермеров о преимуществах и методах анаэробной переработки, чтобы способствовать её внедрению в агрономическую практику [11, 12].

Применение биогаза в качестве топлива для выработки электроэнергии и тепла значительно снижает потребление традиционных ресурсов, что, в свою очередь, уменьшает углеродный след. Примеров успешной реализации технологий, связанных с использованием биогаза, на сегодня существует немало. Например, выработка до 70 м³ биогаза из навоза одной головы крупного рогатого скота представляет собой практическое применение инновационных решений, направленных на рациональное использование ресурсов. Это способствует не только улучшению состояния почв и восстановлению их плодородия, но и высокоэффективному управлению сельским хозяйством в условиях современных вызовов. Интеграция методов анаэробной переработки органических отходов в сельскохозяйственную практику представляет собой важный шаг к устойчивому развитию агрокомплекса и экосистемы в целом. Основные фокусы на экологию, инновации и технологии могут привести к созданию более безопасного, эффективного и ресурсосберегающего сельского хозяйства [13, 14, 15].

Целью настоящей работы является оптимизация параметров и режимов функционирования биогазовой установки для повышения

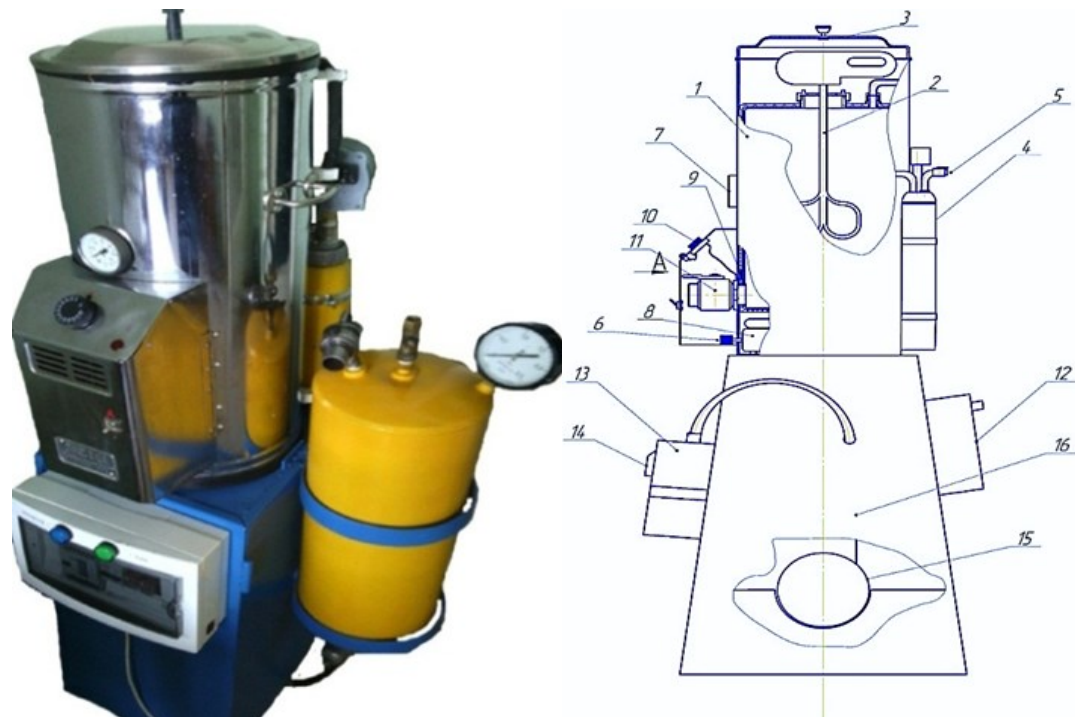
её энергоэффективности и продуктивности при переработке сельскохозяйственных отходов. Это включает в себя анализ динамики и сопоставление технологических параметров, таких как температура, pH, время сбраживания и состав исходного сырья, для достижения максимального выхода биогаза и улучшения качества получаемого органического удобрения. Данная оптимизация позволит снизить экологическую нагрузку, повысить экономическую целесообразность производства и содействовать устойчивому развитию агропромышленного комплекса.

Биогазовые установки, с конструктивной точки зрения, обладают общими характеристиками, включая герметично закрытые резервуары. Для получения сброженного субстрата нами была разработана мобильная биогазовая установка (МБУ). Данная установка представляет собой инновационное решение, основанное на конструкции ферментатора с двойным корпусом, то есть между корпусами создается воздушная прослойка, функционирующая как термос. За счет этой конструкции появляется возможность подачи горячего пара или воздуха в ферментатор для повышения эффективности установки и поддержания оптимальной температуры для анаэробного разложения органических отходов. Конструктивно - технологические параметры ферментатора МБУ оптимизированы для максимальной выработки биогаза, а возможность работы в мезофильном и термофильном режимах расширяет диапазон применения установки. Система автоматического управления обеспечивает непрерывный мониторинг процессов производства биогаза и удобрений, что повышает эффективность и надежность работы установки. Конструктивные решения разработки защищены патентами Российской Федерации № 150764, 208815, 2796354 на полезные модели и изобретения [16].

Условия, материалы и методы. Для выработки биогаза и получения высококачественных органических удобрений была использована мобильная биогазовая установка (рис. 1), разработанная учеными Рудаковым А.И., Гайфуллиным И.Х., Зиганшиным Б.Г. в Казанском государственном аграрном университете. Во время экспериментов применяли термофильный режим сбраживания, установленный на уровне 55°C, который способствовал активизации метаногенеза и ускорению разложения органических веществ, увеличивало выход биогаза. В процессе экспериментов были исследованы различные типы органических отходов сельского хозяйства, в том числе, отходы птицеводства (помет) и животноводства (свиной навоз, конский навоз и навоз КРС), что позволило определить их влияние на эффективность ферментации и качество получаемых продуктов. Мобильная установка обеспечивала гибкость проведения экспериментов и адаптацию под различные виды субстратов.

Результаты исследования могут быть полезны для разработки более эффективных технологий переработки органических отходов и производства возобновляемой энергии. Также

это открывает новые перспективы для внедрения биогазовых установок в аграрный сектор и другие отрасли, способствуя устойчивому развитию и улучшению экологической ситуации.



- 1 – ферментатор; 2 – электрическая мешалка рамного типа; 3 – крышка ферментатора; 4 – газгольдер малый (водяной затвор); 5 – электроконтактный манометр; 6 – переключатель теплоэлектронагревателя; 7 – биметаллический термометр; 8 – теплоэлектронагреватель; 9 – термоэлектрический преобразователь; 10 – регулятор температурного режима; 11 – сливной кран биоудобрения; 12 – микроконтроллер; 13 – счетчик метана; 14 – табло счетчика; 15 – тихоходный компрессор; 16 – подставка

Рис. 1 – Общий вид разработанной мобильной биогазовой установки

Перед проведением экспериментов сначала осуществляется подготовка субстрата (перерабатываемого материала), который автоматически загружается в ферментатор 1 мобильной биогазовой установки при помощи шестеренного насоса, используемого для транспортировки жидкостей. Для обеспечения равномерности перемешивания субстрата и распределения метанобразующих бактерий применяли электрическую мешалку рамного типа 2. После запуска установки до завершения цикла брожения ферментатор закрывается крышкой 3 для ограничения доступа воздуха. В крышке ферментатора имеется патрубок диаметром 20 мм, предназначенный для перекачивания биогаза в газгольдер [17].

Для обеспечения подогрева и поддержания однородной температуры, устанавливали регулятор температурного режима на уровне 55°C [18], которое осуществлялось с помощью биметаллического термометра 7, теплоэлектронагревателя 8, и термопары 9. После запуска ферментатора начинается процесс выделения биогаза. Биогаз из ферментатора выводился через водяной затвор 4, который служит фильтром для удаления углекислого газа (CO_2) и обратным клапаном биогаза.

Движение газовых пузырьков в водяном затворе позволяет следить за процессом газовой выделению. После удаления углекислого газа (CO_2) биогаз (CH_4) транспортировался из водяного затвора 4 через фильтр-очиститель по трубопроводу к счетчику метана 13 и далее тихоходный компрессор 15 нагнетал биогаз в газгольдер. Фильтр-очиститель нужен для удаления водяных паров и сероводорода из биогаза. Перед запуском установки компрессором удаляли воздух из ферментатора, тем самым создавали анаэробные условия. Вырабатываемый биогаз внутри ферментатора создает высокое давление, которое контролировалось при помощи электроконтактного манометра 5. На газгольдере установлен дополнительный регулятор давления, который срабатывает при достижении разрешенного давления, тем самым обеспечивается безопасность эксплуатации установки.

Состав полученного биогаза анализировался с помощью газоанализатора, который показал содержание: 67,8% метана (CH_4), 28% углекислого газа (CO_2), 3% водорода (H_2), 1% азота (N_2), 0,1% влаги (H_2O) и следы сероводорода (H_2S) на уровне 0,03%. Качество полученного продукта в виде органического

удобрения оценивалось по основанным показателям (агрохимические, санитарно-паразитологические, микробиологические, санитарно-энтомологические) в сертифицированной центральной научно-методической ветеринарной лаборатории.

Результаты и обсуждение. Переработка органических отходов анаэробным способом представляет собой эффективный и устойчивый процесс, который не только позволяет перерабатывать отходы, но и восстанавливать ценные питательные элементы, такие как азот, фосфор и калий, в формах, удобных для усвоения растениями. Такой подход к утилизации органических отходов содействует внедрению принципов циркулярной экономики в сельское хозяйство, снижая нагрузку на экологическую систему и улучшая качество почвы.

Одной из ключевых особенностей удобрений, получаемых на биогазовых установках, является их высокое качество. Они содержат важные микро- и макроэлементы, такие как гуминовая и фульвовая кислота, кальций и другие компоненты, которые помогают регулировать водный баланс в почве и способствуют улучшению ее структуры. Доступность питательных веществ в таких удобрениях достигает 75% для азота, 50% для фосфора и 35% для калия, что делает их крайне эффективными для повышения плодородия сельскохозяйственных угодий. Немаловажным является возможность внесения таких удобрений в почву всего один раз в два-три года. Это не только экономит ресурсы фермеров, но и снижает риски загрязнения почвы. Преимущества, такие как отсутствие патогенной микрофлоры и семян, делают эти удобрения безопасными для окружающей среды и человека.

Внесение полученных высококачественных органических удобрений в почву значительно улучшает ее состав и структуру. Это восстанавливает гумусный слой и создает благоприятные условия для роста растений. Кроме того, повышается устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды и болезням благодаря восстановлению полезной микрофлоры и снижению роста вредных микроорганизмов.

В период работы МБУ поддерживали термофильный температурный режим, который положительно влияет на видовой состав микрофлоры во время ферментации. В термофильном температурном режиме сбраживания поддерживается высокая температура 55-65°C и происходит более эффективная переработка органических отходов и повышение выхода биогаза. Исследования показывают, что только небольшая часть микрофлоры способна развиваться в термофильных условиях, поэтому контроль температуры является критическим для успешной работы ферментационных установок.

Исследования по выработке биогаза и получения органических удобрений из конского, свиного навоза и навоза крупного рогатого

скота, птичьего помета в условиях термофильного режима сбраживания представляет собой актуальную задачу. Изучение этих процессов позволяет оптимизировать технологию сбраживания, достичь максимального выхода биогаза и эффективно использовать имеющиеся ресурсы, что в свою очередь способствует устойчивому развитию агрономической практики и повышению эффективности сельского хозяйства. Анаэробное сбраживание органических отходов является важным инструментом для повышения продуктивности сельского хозяйства, снижения экологической нагрузки и улучшения качества почвы. Его перспективы в улучшении устойчивости сельского хозяйства перед лицом современных глобальных вызовов неоспоримы. Эти отходы обладают различным химическим составом, что существенно влияет как на скорость, так и на конечный объем биогаза, производимого в процессе анаэробной ферментации.

В соответствии с проведенными экспериментами, результаты, представленные на рисунке 2, демонстрируют, что термофильный режим сбраживания способствует более высокой концентрации метана и большему объему образуемого газа по сравнению с мезофильными условиями. Такие мезофильные условия были изучены в предыдущих исследованиях [19]. Температура в диапазоне 50-65°C создает оптимальные условия для активности специфических термофильных микроорганизмов, которые оказывают значительное влияние на процессы разложения органических веществ.

В частности, свиной навоз, обладая высоким содержанием органических веществ и рыхлой структурой, продемонстрировал наибольший выход биогаза. Этот факт можно объяснить более высоким содержанием легкодоступных углеводов и белков, которые термофильные бактерии способны эффективно перерабатывать. Птичий помет и навоз КРС, хоть и отличаются по составу, также показали значительные результаты, однако выход биогаза оказался несколько ниже, что может быть связано с наличием более сложных соединений органических веществ, труднее поддающихся анаэробному расщеплению. Конский навоз, в свою очередь, продемонстрировал меньший выход биогаза в силу менее высокого содержания влаги и более высокого содержания волокон, что может затруднять процесс сбраживания.

Температура, как ключевой фактор, не только влияет на активность метаногенных микроорганизмов, но и на виды, присутствующие в системе. В термофильных условиях отмечается снижение видового разнообразия [12], однако, как показывают исследования, оставшиеся виды обладают повышенной эффективностью по переработке органических веществ. Это приводит к более высокому выходу биогаза, что подчеркивает преимущества термофильного режима [10, 20].

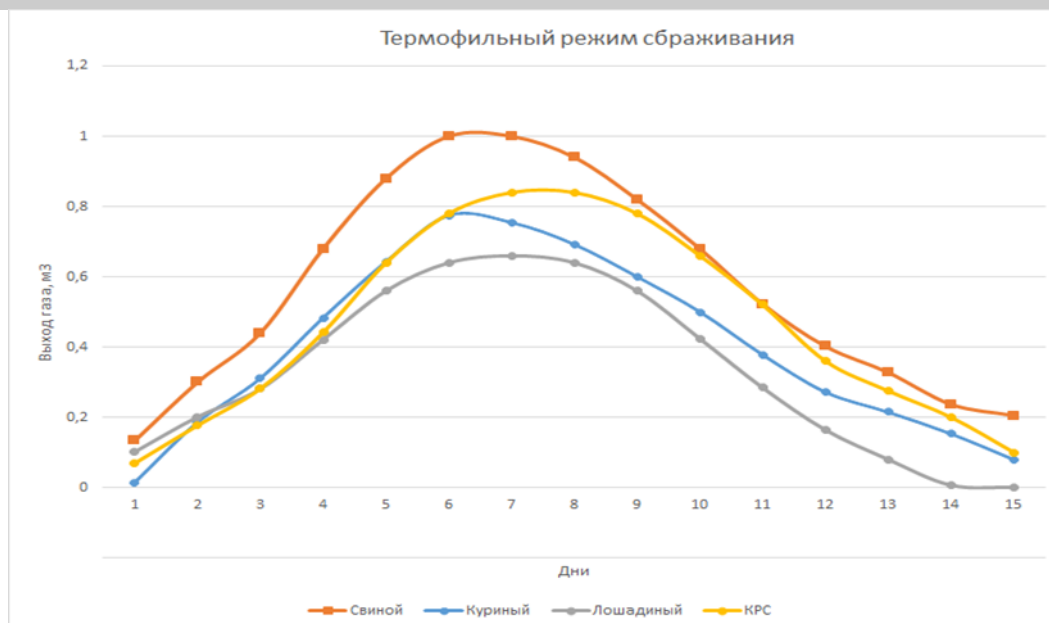


Рис. 2 – Общий вид разработанной мобильной биогазовой установки

На протяжении технологического процесса переработки органических отходов продолжительность одного цикла проходила в течение 16 суток, что является оптимальным для достижения максимальной эффективности как в получении биогаза, так и в производстве удобрений. По результатам исследований были получены следующие объемы биогаза (CH_4 , CO_2 , H_2S):

- 10 м³ из свиного навоза,
- 7 м³ из куриного навоза,
- 5 м³ из конского навоза,
- 8 м³ из коровьего навоза.

Эти данные свидетельствуют о различиях в выходе биогаза, что может быть обусловлено как соотношением органического вещества в каждом типе навоза, так и активностью микроорганизмов, участвующих в процессе сбраживания.

Стоит отметить, что в ходе исследований было выявлено, что повышение температуры сбраживания свыше 55°C приводит к снижению эффективности получения биогаза. Это подчеркивает важность контроля температурного режима в процессе

ферментации, который напрямую влияет на активность микрофлоры и, соответственно, на выход конечного продукта. После завершения полного цикла обработки органических отходов в результате анаэробного сбраживания происходит уничтожение патогенной микрофлоры, яиц гельминтов, семян сорняков, а также нитритов и нитратов в получаемых удобрениях. Это значение особенно важно для обеспечения безопасности удобрений, которые могут быть использованы в агрономии.

Следующим этапом исследований являлся анализ токсикологических свойств полученных образцов. В качестве тест-объектов использовали равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* и ветвистоусых рачков *Gerrhodaphnia affinis* [21]. По результатам анализа установлено значительное снижение токсичности к окончанию цикла ферментации. Результаты, токсических свойств исследуемых образцов, представленные в таблице 1, подтверждают высокую эффективность процесса анаэробного сбраживания органических отходов в биогазовой установке [18].

Таблица 1 – Изменение токсических свойств, исследуемых образцов в ходе испытаний

Вариант	Тест-объекты	Токсичность, (мг/кг)			
		Навоз КРС	Помет птичий	Навоз свиной	Навоз конский
Начальная	<i>P. caudatum</i>	0	0	0	0
	<i>C. affinis</i>	200	215	208	215
После переработки в МБУ	<i>P. caudatum</i>	25	25	25	25
	<i>C. affinis</i>	62	39	60	38

Эти результаты показывают, что процесс анаэробного сбраживания не только предоставляет возможность получения ценного органического удобрения и биогаза, но также

является эффективным методом для устранения потенциальных загрязнителей и патогенов, что в свою очередь, обеспечивает безопасность и высокое качество получаемой

продукции. Применение данных технологий в агрономии может способствовать повышению устойчивости и продуктивности сельского хозяйства в условиях изменения климата и роста населения.

Выводы. Процесс сбраживания органических отходов в термофильном режиме (50-65°C) показывает более высокую интенсивность, чем мезофильный (20-35°C). Это приводит к увеличению выхода биогаза и сокращению времени переработки.

В процессе анаэробного брожения достигается получение биогаза и органических минеральных удобрений, что в свою очередь, способствует как энергетической, так и агрономической ценности перерабатываемых материалов.

Эксперименты показали, что к концу цикла ферментации токсичность исследуемых образцов существенно снижается, что подтверждает эффективность технологии в обращении с опасными отходами.

Литература

1. Актуальность применения биогазовых установок в России и за рубежом / Б. Г. Зиганшин, И. И. Кашапов, И. Х. Гайфуллин и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2017. Т. 12, № 2. С. 71-74.
2. Дубек Б., Валовский Г., Романюк В. Десульфурация сырого биогаза с использованием адсорбционно-абсорбционной технологии для производства биогаза из свиного навоза // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 1. С. 94-107. doi:10.51794/27132064-2021-1-94.
3. Никифоров Л. Л. Переработка органических отходов // Мясная индустрия. 2024. № 2. С. 44-46. doi:10.37861/2618-8252-2024-02-44-46.
4. Получение биогаза из отходов сельскохозяйственных животных / Н. Э. Маматов, А. К. Самыкбаев, Т. О. Осмонканов и др. // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2018. № 2. С. 279-282.
5. Жигалов Д. А. Взаимозаменяемость природного газа и биогаза // Современные научные исследования и инновации. 2019. № 5(97). С. 9.
6. Влияние удобрений и способов их заделки на баланс органического вещества почвы при возделывании озимой пшеницы в условиях Верхневолжья / В. А. Шевченко, А. М. Соловьев, Г. И. Бондарева, Н. П. Попова // Плодородие. 2024. № 1(136). С. 32-36. doi:10.25680/S19948603.2024.136.08.
7. Рубцов А. А., Немущенко Д. А. Подбор мешалки и оптимизация процесса перемешивания субстрата в ферментере биогазовой установки // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 1. С. 134-150. doi:10.30766/2072-9081.2024.25.1.134-150.
8. Каплина Т. Ю. Использование биогазовых установок для переработки отходов в городе // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2019. Т. 19, № 8. С. 67-69.
9. Осмонов Ж. Ы. Обоснование типоразмерного ряда биогазовых установок для малых сельхозформирований // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2024. Т. 24, № 4. С. 121-126. doi:10.36979/1694-500X-2024-24-4-121-126.
10. Влияние препарата Мефосфон на эффективность процесса получения биогаза и утилизации углеродсодержащих отходов / И. Х. Гайфуллин, З. М. Халиуллина, Б. Г. Зиганшин и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2021. Т. 16, № 3(63). С. 19-26. – doi:10.12737/2073-0462-2021-19-26.
11. Guseva J. D. Technology of using biological waste to produce biogas // The World of Science without Borders. Tambov: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023. P. 11-13.
12. Peculiarities of modeling the heat and mass transfer with accounting the scaling for biogas production reactors / G. E. Sakhmetova, A. M. Brener, V. V. Dilman [et al.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. 2017. Vol. 6, No. 426. P. 207-215.
13. Tretjakova A. N., Zhuravleva N. N. Electricity generation from biogas in Russia and Germany // European Journal of Natural History. 2020. No. 3. P. 157-161.
14. Алешина Т. А., Чернышев С. Н. Биогаз как перспективный источник для развития Российской электроэнергетики // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 3. С. 65-68.
15. Биогаз и биомасса / А. М. Кучкоров, А. Мамаюсупова, Б. Х. Каримов, З. Мирзажонов // Точная наука. 2019. № 40. С. 13-17.
16. Гайфуллин И. Х., Нафиков И. Р., Гималтдинов И. Х. и др. Биогазовая установка с полимерным эластичным реактором // Патент РФ № 2819832 С1, 27.05.2024.
17. Бадмаев Ю. Ц., Тайшин В. А. Эффективность производства биогаза в условиях Бурятии // Наука, образование, новые технологии: материалы ежегодной научно-практической конференции, ФГОУ ВПО "Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В. Р. Филиппова". – Улан-Удэ: Издательство ФГОУ ВПО БГСХА, 2004. С. 148.
18. Использование куриного помета в органическом земледелии / Ф. С. Сибгатуллин, А. С. Ганиев, З. М. Халиуллина, И. Х. Гайфуллин // Агрохимический вестник. 2023. № 3. С. 50-53. doi:10.24412/1029-2551-2023-3-011.
19. Влияние куриного помета на некоторые свойства почвы / Ф. С. Сибгатуллин, А. С. Ганиев, З. М. Халиуллина, И. Х. Гайфуллин // Агрохимический вестник. 2024. № 3. С. 67-71. doi:10.24412/1029-2551-2024-3-012.
20. Савватеева И. А., Друзьянова В. П. Технология производства электроэнергии из биогаза, получаемого от навоза крупного рогатого скота // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 2(58). С. 144-151. – doi:10.24412/1999-6837-2021-2-144-151.
21. ПНД Ф Т 14.1:2.3.13-06/ПДН Ф Т 16.1:2.3:3.10-06 «Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования и использованием равносречных инфузорий *Paramecium caudatum*. Москва. 2014. С. 24.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена при поддержке гранта (№142/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Сведения об авторах:

Гайфуллин Ильнур Хамзович – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: ilnur-gai@yandex.ru

Халиуллина Зульфия Мусавиховна – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии, животноводства и химии, e-mail: khaliullina@mail.ru

Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, профессор РАН, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: zigan66@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

DISPOSAL OF ORGANIC AGRICULTURAL WASTE WITH BIOFERTILIZERS AND BIOGAS PRODUCTION

I. Kh. Gayfullin, Z. M. Khaliullina, B. G. Ziganshin

Abstract. This scientific article presents the possibilities of improving innovative energy-saving solutions in the agricultural sector, and also studies the issues of energy consumption management and energy efficiency. The article presents the results of experimental studies of a mobile biogas plant operating in the thermophilic fermentation mode (at a temperature of 55°C) of organic waste, obtaining biogas and organic fertilizers. Experimental data showed that the composition of the obtained biogas includes: 67.8% methane (CH₄), 28% carbon dioxide (CO₂), 3% hydrogen (H₂), 1% nitrogen (N₂), 0.1% water (H₂O) and hydrogen sulfide (H₂S) at a level of 0.03%. During the 16-day study, the efficiency of processing organic waste from various types of livestock farming was assessed, resulting in the following volumes of biogas: 10 m³ from pig manure, 7 m³ from chicken manure, 5 m³ from horse manure and 8 m³ from cattle manure. The results of a comprehensive analysis of the obtained high-quality organic fertilizer for agrochemical, microbiological, sanitary-parasitological and sanitary-entomological indicators were carried out in a certified laboratory of Federal State Budgetary Institution "Tatar Interregional Veterinary Laboratory". After processing organic waste in a biogas plant, the nitrogen content in the substrate increased by 3.5 times compared to the original material. The pH value of the obtained fertilizer was 7, which indicates a neutral pH. The phosphorus content reached 2.3%, and potassium - 1.3%. These data highlight the potential of using organic waste as a source of renewable energy, which can contribute to sustainable agricultural development and reduce the negative impact on the environment.

Key words: operating modes, biogas, biofertilizer, acidity, organic waste, soil.

For citation: Gayfullin I. Kh., Khaliullina Z. M., Ziganshin B. G. Disposal of organic agricultural waste with biofertilizers and biogas production // Agrobiotechnologies and digital farming. 2025; 1 (13). 16-23 p.

References

1. Ziganshin BG, Kashapov II, Gayfullin IKh. [Relevance of the use of biogas plants in Russia and abroad]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2017; Vol.12. 2. 71-74 p.
2. Dubek B, Valovskiy G, Romanyuk V. [Desulfurization of raw biogas using adsorption-absorption technology for the production of biogas from pig manure]. Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2021; 1. 94-107 p. doi:10.51794/27132064-2021-1-94.
3. Nikiforov LL. [Processing of organic waste]. Myasnaya industriya. 2024; 2. 44-46 p. doi:10.37861/2618-8252-2024-02-44-46.
4. Mamatov NE, Samykbaev AK, Osmonkanov TO. [Biogas production from farm animal waste]. Vestnik Kyr-gyzskogo natsionalnogo agrarnogo universiteta im.K.I. Skryabina. 2018; 2. 279-282 p.
5. Zhigalov DA. [Interchangeability of natural gas and biogas]. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii. 2019; 5(97). 9 p.
6. Shevchenko VA, Solovov AM, Bondareva GI, Popova NP. [The influence of fertilizers and methods of their incorporation on the balance of soil organic matter during winter wheat cultivation in the Volga region]. Plodorodie. 2024; 1(136). 32-36 p. doi:10.25680/S19948603.2024.136.08.
7. Rubtsov AA, Nemushchenko DA. [Selection of a stirrer and optimization of the substrate mixing process in a biogas plant fermenter]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2024; Vol.25. 1. 134-150 p. doi:10.30766/2072-9081.2024.25.1.134-150.
8. Kaplina TYu. [Use of biogas plants for waste processing in the city]. Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta. 2019; Vol.19. 8. 67-69 p.
9. Osmonov ZhY. [Justification of the standard size range of biogas plants for small agricultural formations]. Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta. 2024; Vol.24. 4. 121-126 p. doi:10.36979/1694-500X-2024-24-4-121-126.
10. Gayfullin IKh, Khaliullina ZM, Ziganshin BG. [The influence of Mephosphon drug on the efficiency of the process of biogas production and utilization of carbon-containing waste]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2021; Vol.16. 3(63). 19-26 p. – doi:10.12737/2073-0462-2021-19-26.
11. Guseva JD. Technology of using biological waste to produce biogas. The World of Science without Borders. Tambov: Izdatelskiy tsentr FGBOU VO Tambovskiy gosudarstvennuy tekhnicheskii universitet. 2023; 11-13 p.
12. Sakhmotova GE, Brenner AM, Dilman VV. Peculiarities of modeling the heat and mass transfer with accounting the scaling for biogas production reactors. Izvestiya Natsionalnoy akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya geologii i tekhnicheskikh nauk. 2017; Vol.6. No.426. 207-215 p.
13. Tretyakova AN, Zhuravleva NN. Electricity generation from biogas in Russia and Germany. European Journal of Natural History. 2020; No.3. 157-161 p.
14. Aleshina TA, Chernyshev SN. [Biogas as a promising source for the development of the Russian electric

power industry]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2010; 3. 65-68 p.

15. Kuchkorov AM, Mamayusupova A, Karimov BKh, Mirzazhonov KhZ. [Biogas and biomass]. *Tochnaya nauka*. 2019; 40. 13-17 p.

16. Gayfullin IKh, Nafikov IR, Gimaltdinov IKh. [Biogas plant with a polymer elastic reactor]. Patent RF № 2819832 C1, 27.05.2024.

17. Badmaev YuTs, Tayshin VA. [Efficiency of biogas production in Buryatia]. *Nauka, obrazovanie, novye tekhnologii: materialy ezhegodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, FGOU VPO Buryatskaya gosudarstvennaya selskokhozyaystvennaya akademiya im.V.R.Filippova. Ulan-Ude: Izdatelstvo FGOU VPO BGSKhA*. 2004; 148 p.

18. Sibagatullin FS, Ganiev AS, Khaliullina ZM, Gayfullin IKh. [Use of chicken manure in organic farming]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2023; 3. 50-53 p. doi:10.24412/1029-2551-2023-3-011.

19. Sibagatullin FS, Ganiev AS, Khaliullina ZM, Gayfullin IKh. [Effect of chicken manure on some soil properties]. *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2024; 3. 67-71 p. doi:10.24412/1029-2551-2024-3-012.

20. Savvateeva IA, Druzyanova VP. [Technology of electricity production from biogas obtained from cattle manure]. *Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik*. 2021; 2(58). 144-151 p. doi:10.24412/1999-6837-2021-2-144-151.

21. PND F T 14.1:2:3.13-06/PDN F T 16.1:2.3:3.10-06 [Methodology for determining the toxicity of waste, soils, sewage sludge, surface and groundwater using biotesting and the use of holotrichous infusorium *Paramecium caudatum*]. Moscow. 2014; 24 p.

Conflict of interest

The author declares that there is no conflict of interest. The work was supported by a grant (No. 142/2024 – PD dated 12/16/2024) to young candidates of sciences (postdoctoral fellows) in order to defend their doctoral dissertation, carry out research, as well as perform work functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan.

Authors:

Gayfullin Ilmur Khamzovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: ilnur-gai@yandex.ru

Khaliullina Zulfiya Musavikhovna – Ph.D. of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Animal Husbandry and Chemistry, e-mail: khaliullinaz@mail.ru

Ziganshin Bulat Gusmanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: zigan66@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.