

## ПЕРЕРАБОТКА НАВОЗА В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ

Д. Ф. КОЛЬГА, С. А. КОСТЮКЕВИЧ, Т. В. МОЛОШ

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220012, e-mail: t.v.molosh.uot@bsatu.by*

В. Н. БОСАК

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: bosak1@tut.by**(Поступила в редакцию 24.04.2024)*

*Рассмотрены перспективы развития альтернативной энергетики в Республике Беларусь в контексте развития биогазовых технологий с использованием органических отходов производства агропромышленного комплекса. Проанализирован процесс переработки органических удобрений в биогазовых установках с получением биогаза и биоудобрений. Изучены преимущества биоудобрений, полученных после переработки в биогазовых установках, в сравнении со свежими органическими удобрениями. В результате исследований установлено, что выход биогаза с 1 кг сухого вещества навоза крупного рогатого скота в среднем составляет 0,25–0,34 м<sup>3</sup>. Отработанный в биогазовой установке субстрат по содержанию питательных веществ равноценен высококачественным органическим удобрениям. По содержанию основных элементов питания в твердой и жидкой фракциях отработанный субстрат не уступает, а по содержанию азота, фосфора и магния – превышает классическое органическое удобрение – подстилочный навоз крупного рогатого скота. Так, содержание общего азота в твердой фракции биоудобрения составило 5,9–6,5, общего фосфора – 5,3–5,8, общего магния – 1,5–1,8 кг/т при содержании общего азота в твердой фракции подстилочного навоза крупного рогатого скота 4,3–5,0, общего фосфора – 2,7–2,9, общего магния – 1,3–1,5 кг/т. В жидкой фракции биоудобрения содержание общего азота оказалось 3,1–3,8, общего фосфора – 2,3–2,4, общего магния – 0,5–0,8 кг/т при их содержании в жидкой фракции подстилочного навоза крупного рогатого скота соответственно 1,8–2,2 (общий азот), 0,6–0,8 (общий фосфор) и 0,4–0,5 (общий магний) кг/т. Полученные после переработки в биогазовой установке свежего навоза биоудобрения рекомендуются для применения на сельскохозяйственных угодьях весной и осенью под основную (твердая фракция), основную и предпосевную (жидкая фракция) обработки почвы.*

**Ключевые слова:** органические удобрения, биогазовые установки, биогаз, биоудобрения, качество.

*The article considers the prospects for the development of alternative energy in the Republic of Belarus in the context of the development of biogas technologies using organic waste from the agro-industrial complex. The process of processing organic fertilizers in biogas plants to produce biogas and biofertilizers is analyzed. The advantages of biofertilizers obtained after processing in biogas plants are studied in comparison with fresh organic fertilizers. As a result of the research, it was found that the yield of biogas from 1 kg of dry matter of cattle manure is on average 0.25–0.34 m<sup>3</sup>. The substrate spent in a biogas plant is equivalent to high-quality organic fertilizers in terms of nutrient content. In terms of the content of basic nutrients in solid and liquid fractions, the spent substrate is not inferior, and in terms of nitrogen, phosphorus and magnesium, it exceeds the classic organic fertilizer – bedding manure of cattle. Thus, the content of total nitrogen in the solid fraction of the biofertilizer was 5.9–6.5, total phosphorus – 5.3–5.8, total magnesium – 1.5–1.8 kg/t with the content of total nitrogen in the solid fraction of cattle bedding manure being 4.3–5.0, total phosphorus – 2.7–2.9, total magnesium – 1.3–1.5 kg/t. In the liquid fraction of the biofertilizer, the content of total nitrogen was 3.1–3.8, total phosphorus – 2.3–2.4, total magnesium – 0.5–0.8 kg/t with their content in the liquid fraction of cattle bedding manure being, respectively, 1.8–2.2 (total nitrogen), 0.6–0.8 (total phosphorus) and 0.4–0.5 (total magnesium) kg/t. Biofertilizers obtained after processing fresh manure in a biogas plant are recommended for use on agricultural lands in spring and autumn for primary (solid fraction), primary and pre-sowing (liquid fraction) soil cultivation.*

**Key words:** organic fertilizers, biogas plants, biogas, biofertilizers, quality.

### Введение

Защита климата и природных ресурсов являются глобальными проблемами, которые требуют немедленного внимания. Сельское хозяйство может сыграть значительную роль в решении этих проблем, предоставляя возобновляемые ресурсы для производства энергии и материалов [1].

Особенно важной частью устойчивого энергоснабжения является биогаз и соответствующие технологии его производства. В последние годы мы стали свидетелями значительного роста производства и использования биогаза во многих странах, включая нашу страну. Несмотря на широкое распространение биогазовых технологий, интерес к ним продолжает расти [2–6].

Биогаз возникает вследствие разложения органической субстанции бактериями. Разные группы бактерий разлагают органические субстраты, состоящие преимущественно из воды, белка, жира, углеводов и минеральных веществ на их первичные составляющие – углекислый газ, минералы и воду. Метан CH<sub>4</sub> составляет от 5 до 85 % и является основным компонентом биогаза.

Для производства биогаза можно использовать различные органические субстанции – органические удобрения, твердые коммунальные отходы, растительные остатки и др. [5–10].

Для агропромышленного производства наиболее актуальным является рациональное использование органических удобрений. Это связано с растущей проблемой плодородия почвы, и, прежде всего, гумуса, которая признана одним из важнейших государственных приоритетов. Правильное использование органических удобрений позволяет сельскохозяйственным предприятиям получать высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственной продукции, а также обеспечить воспроизводство почвенного плодородия и экологические стандарты [11–32].

Однако при использовании различных органических удобрений важно учитывать их состав [15, 33]. Так, одна тонна свежего навоза может содержать от 200 до 700 тысяч семян сорной растительности, а подстилочный навоз может содержать еще больше семян – от 5 до 7 миллионов на 1 тонну навоза. Также в каждой тонне навоза может быть более 1 миллиона различных бактерий, которые могут быть опасными не только для животных, но и для человека. Применение многих семян сорняков и бактерий требует применения пестицидов, что влечет за собой дополнительные расходы.

Одной из передовых технологий переработки навоза в биоудобрения являются биогазовые установки. Переработанный навоз в биогазовой установке имеет ряд преимуществ перед свежим навозом: отсутствие семян сорняков; отсутствие патогенной микрофлоры; уменьшение выделения неприятных запахов из-за разложения летучих органических соединений; наличие активной микрофлоры, которое способствует интенсивному росту растений; стойкость к вымыванию из почвы питательных веществ из биоудобрений; максимальное сохранение и накопление азота; благоприятное экологическое влияние на почву.

Целью данной статьи является изучение процессов получения биогаза и биоудобрений в биогазовых установках, а также качества полученных биоудобрений.

### Основная часть

Одними из наиболее технологически успешных биогазовых установок в Республике Беларусь являются биогазовые установки в фирмы «Энергетическая инженерно-консалтинговая компания ОДО «ЭНЭКА». Поставщиком комплектного оборудования для биогазового комплекса является УАВ «ModusEnergySolution». Структура биогазовой установки на базе молочно-товарного комплекса приведена на рис. 1.

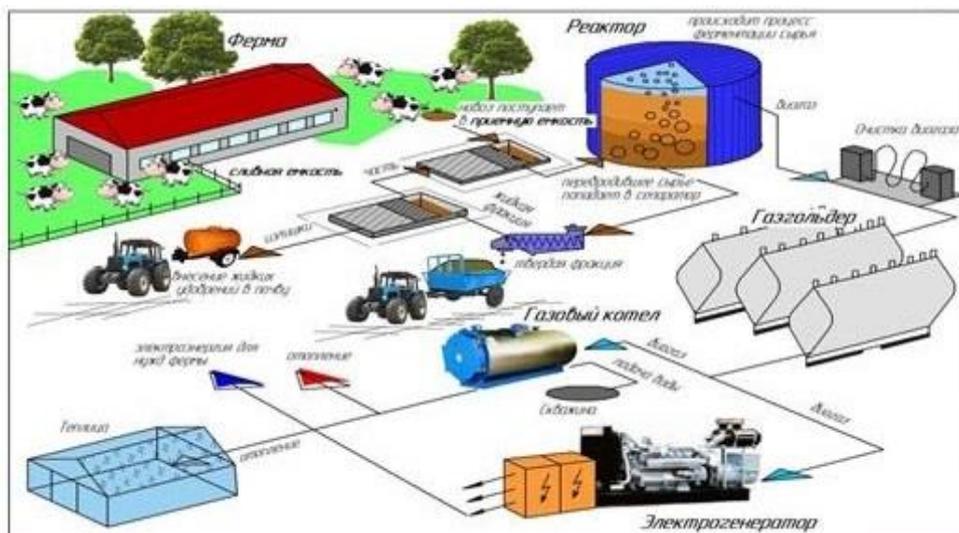


Рис. 1. Схема использования биогазовой установки на базе молочно-товарного комплекса «Кореньки» Щучинского района Гродненской области

Установленная электрическая мощность биогазового комплекса составляет 1000 кВт, а общая тепловая мощность – 1080 кВт. В качестве сырья используется «сухой» (подстилочный) и жидкий навоз от крупного рогатого скота, а также технологическая вода (от мойки станков и доильного оборудования). «Сухой» навоз от комплекса доставляется на площадку для временного хранения на территории биогазового комплекса. Затем эта навозная масса подается в блок, где измельчается не только навоз, но и имеющая в нем солома. После измельчения навозная масса транспортером подается в насосную станцию для смешивания с жидкой фракцией. Там эта масса смешивается с субстратом из биореактора или из отстойника жидкой фракции после цеха разделения навоза. Влажность данной массы должна быть 85–88 %. Далее он подается в биореакторы, где он выдерживается определенное время.

В табл. 1 приведена взаимосвязь между временем пребывания субстрата в установке от объема загрузки при различной концентрации.

Таблица 1. Взаимосвязь между временем пребывания (сутки) субстрата в установке в зависимости от объема нагрузки и концентрации

		Объемная нагрузка кг·оСВ / (м <sup>3</sup> сут)								
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Концентрация субстрата, кг / м <sup>3</sup>	50	40	28	26	20	18	16	14	12	10
	100	100	62	45	40	32	26	22	20	19
	150	150	100	78	60	52	41	38	37	35

Поскольку в данном хозяйстве на биогазовый комплекс поступает в основном «сухой» навоз, который содержит около 20 % сухой массы (СМ), данный субстрат необходимо разбавить. В начале запуска биогазовой установки в работу добавляют воду, а в дальнейшем используются стоки после цеха разделения навоза на фракции.

Биогаз производится в биореакторах при поддержании постоянной температуры субстрата 38–42 °С и его перемешивания в отсутствие кислорода. Биогаз, образующийся в процессе ферментации, собирается под куполом биореактора, который состоит из двойной мембраны, надутой воздухом для поддержания формы и давления биогаза.

Внутри биореактора перемешивание сырья осуществляется пропеллерными мешалками с большой крыльчаткой, он должен обеспечивать хорошее перемешивание субстрата с особенно большим содержанием сухого вещества. Скорость вращения зависит от субстрата и как правило, это медленное вращение мешалки непрерывного действия. Мешалки могут использоваться с вертикальным расположением так и с горизонтальным.

Для наблюдения за процессом имеется смотровое окно. В биореакторе сырье перемешивается несколько раз в день. Перемешивание предотвращает образование корки и отложений на поверхности биомассы, что способствует контакту микроорганизмов с вновь подаваемым сырьем в первичном реакторе и обеспечивает равномерное распределение питательных веществ по биомассе.

Температура в биореакторе должна поддерживаться на уровне 38–42 °С для поддержания биохимических процессов, связанных с производством метана. Субстрат в биореакторе нагревается за счет тепла, отводимого от охлаждающей рубашки через теплообменник.

После образования биогаза (выход биогаза с 1 кг сухого вещества навоза КРС в среднем составляет 0,25–0,34 м<sup>3</sup>) отработанный субстрат, который по количеству питательных веществ равноценен высококачественному удобрению, подается в цех разделения, где сепаратором разделяется на твердую и жидкую часть. Путем естественного потока, жидкая составляющая направляется в насосную станцию, где с помощью специальных насосов она перекачивается в специальный резервуар для навоза. Из навозохранилища два раза в год жидкая фракция машинами МЖТ забирается и вывозится на поля для применения в качестве органических удобрений.

После разделения, когда твердые материалы преобразуются в фракции, твердая фракция аккуратно сыпается на специальную площадку, откуда она затем перевозится для последующего складирования и долгосрочного хранения. Вносят твердую фракцию в качестве полноценного органического удобрения также два раза в год – весной и осенью – под основную обработку почвы.

Качественные характеристики продуктов брожения и полученных биоудобрений представлены в табл. 2–3.

Таблица 2. Химический состав продуктов брожения навоза КРС (биоудобрений)

Элемент	Твердая фракция после сепарации, кг/т (75 % влажность)	Жидкая фракция после сепарации, кг/т (95 % влажность)
N	5,9–6,5	3,1–3,8
N-NH <sub>4</sub>	1,4–2,0	1,4–2,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,3–5,8	2,3–2,4
K <sub>2</sub> O	6,2–6,3	2,1–2,4
MgO	1,5–1,8	0,5–0,8

Таблица 3. Сравнительный химический органических удобрений, кг/т

Удобрение	N	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Твердая фракция, 75 % влажность					
Биоудобрение	5,9–6,5	1,4–2,0	5,3–5,8	6,2–6,3	1,5–1,8
Навоз КРС	4,3–5,0	1,0–1,2	2,7–2,9	7,5–7,8	1,3–1,5
Жидкая фракция, 95 % влажность					
Биоудобрение	3,1–3,8	1,4–2,0	2,3–2,4	2,1–2,4	0,5–0,8
Навоз КРС	1,8–2,2	1,0–1,2	0,6–0,8	2,2–2,8	0,4–0,5

Полученное в биогазовых установках биоудобрение по основным качественным показателям (содержание азота, фосфора и магния) превосходит классическое органическое удобрение – подстилочный навоз КРС при большей концентрации питательных веществ в твердой фракции биоудобрения.

Так, содержание общего азота в твердой фракции биоудобрения составило 5,9–6,5, общего фосфора – 5,3–5,8, общего магния – 1,5–1,8 кг/т в то время, как подстилочном навозе КРС содержание общего навоза составило 4,3–5,0, общего фосфора – 2,7–2,9, общего магния – 1,3–1,5 кг/т. В жидкой фракции биоудобрения содержание общего азота оказалось 3,1–3,8, общего фосфора – 2,3–2,4, магния – 0,5–0,8 кг/т, в жидкой фракции навоза КРС – 1,8–2,2 (общий азот), 0,6–0,8 (общий фосфор) и 0,4–0,5 (общий магний) кг/т.

### Заключение

Переработка органических удобрений с получением биогаза и биоудобрений относится к перспективным направлениям развития альтернативной энергетики в Республике Беларусь.

Содержание основных питательных элементов (азот, фосфор, калий, магний) в жидкой и твердой фракциях биоудобрения характеризуется высокими показателями с большими значениями в твердой фракции. По содержанию азота, фосфора и магния полученное биоудобрение превосходит аналогичные показатели в твердой и жидкой фракциях навоза КРС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Челноков А. А., Босак В. Н., Ющенко Л. Ф. Безопасность жизнедеятельности. – Минск: Вышэйшая школа, 2023. – 407 с.
2. Альтэрнатыўная энергетыка ў Рэспубліцы Беларусь: накірункі і перспектывы развіцця / Т. У. Сачыўка, В. М. Босак, А. У. Дамнянкова і інш. // Хімічная тэхналогія і тэхніка. – Минск: БГТУ, 2024.
3. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз: теория и практика. – Москва: Колос, 1982. – 148 с.
4. Ермак И. Т., Домненкова А. В., Босак В. Н. Об использовании топливных гранул в Республике Беларусь // Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 112–115.
5. Острейко А. А. Факторы, влияющие на повышение выхода биогаза // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 208–212.
6. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки: практическое пособие. – Москва, 2006. – 238 с.
7. Байбатырова Б. У., Алтыбаев Ж. М., Босак В. Н. Перспективные методы переработки твердых бытовых отходов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 16–18.
8. Байбатырова Б. У., Алтыбаев Ж. М., Босак В. Н. Совершенствование методов утилизации твердых бытовых отходов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 16–18.
9. Кольга Д. Ф., Васьюк А. С. Переработка навоза в экологически безопасные органические удобрения. – Минск: БГАТУ, 2017. – 128 с.
10. Шаршунов В. А. Особенности анаэробной обработки бесподстилочного навоза и навозных стоков с получением биогаза // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 105–109.
11. Босак В. Агрэаэномічная эфектыўнасць прымянення арганічных удобраяў // Аграрная эканоміка. – 2015. – № 12. – С. 50–55.
12. Босак В. М., Сачыўка Т. У. Харчовая бяспека і яе роля ў забяспечэнні бяспекі жывяцтваў // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 19–22.
13. Босак В. Н. Агрэаэномічная эфектыўнасць выкарыстання арганічных адходаў прадукцыі // Государственное регулирование экономики и повышение эффективности деятельности субъектов хозяйствования. – Минск, 2013. – С. 158–160.
14. Босак В. Н. Баланс і дынаміка зместу гумуса ў севаборце // Землярства і ахова раслін. – 2012. – № 2. – С. 27–29.
15. Босак В. Н. Органические удобрения. – Минск: ПолесГУ, 2009. – 256 с.
16. Босак В. Н. Применение органических удобрений и динамика содержания гумуса в Полесском регионе Беларуси // Европейское Полесье – хозяйственная значимость и экологические риски. – Минск: Минсктиппроект, 2007. – С. 101–103.
17. Босак В. Н. Применение удобрений в аквакультуре // Теория и практика современной аграрной науки. – Новосибирск: Золотой колос, 2022. – С. 1304–1306.
18. Босак В. Н. Роль органических удобрений в формировании продуктивности сельскохозяйственных культур и воспроизводстве почвенного плодородия // Вермикомпостирование и вермикюльтивирование как основа экологического земледелия в XXI веке: проблемы, перспективы, достижения. – Минск, 2007. – С. 70–71.
19. Босак В. Н. Экономическая и энергетическая эффективность применения органических удобрений // Научные труды Белорусского государственного экономического университета. – Минск: БГЭУ, 2010. – С. 52–57.

20. Босак В. Н., Максимова С. Л., Марцуль О. Н. Агроэкологические аспекты использования органических отходов производства // Техника и технология защиты окружающей среды. – Минск: БГТУ, 2011. – С. 35–37.
21. Босак В. Н., Марцуль О. Н. Агроэкономическая эффективность применения различных видов органических удобрений / В. Н. Босак, О. Н. Марцуль // Нетрадиционные источники и приемы организации питания растений. – Нижний Новгород: ВВАГС, 2011. – С. 33–36.
22. Босак В. Н., Смеянович О. Ф. Почвенное плодородие и удобрения как факторы формирования продуктивности сельскохозяйственных культур // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК. – Минск: БГАТУ, 2016. – С. 233–235.
23. Босак В. Н., Цвирков В. В. Применение органических удобрений в системе удобрения озимых зерновых культур // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений. – Горки: БГСХА, 2007. – С. 48–50.
24. Марцуль О. Н., Босак В. М., Серая Т. М. Аграэканамічная эфектыўнасць выкарыстання кампостаў пры вырошчванні сельскагаспадарчых культур // Природопользование: экология, экономика, технологии. – Минск: Минсктипроект, 2010. – С. 198–200.
25. Марцуль О. Н., Босак В. Н. Влияние различных видов органических удобрений на накопление гумуса в почве // Современные технологии сельскохозяйственного производства. – Гродно: ГГАУ, 2012. – Ч. 1. – С. 69–70.
26. Марцуль О. Н., Босак В. Н. Влияние различных видов органических удобрений на продуктивность зеленой массы кукурузы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почва – удобрение – плодородие – урожай. – Минск, 2009. – С. 190–192.
27. Продуктивность севооборотов и изменение содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах / В. В. Лапа, Н. Н. Ивахненко, В. Н. Босак и др. // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1. – С. 7–18.
28. Роль органического вещества в повышении плодородия почвы и питании растений / В. В. Перетрухин, А. В. Домненкова, Г. А. Чернушевич и др. // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – 2021. – Вып. 6. – С. 41–45.
29. Сачыўка А. В., Босак В. М. Выкарыстанне ўгнаенняў у кантэксце забеспячэння харчовай бяспекі // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 198–200.
30. Сачыўка Т. У., Босак В. М. Узнаўленне глебавай урадлівасці як фактар забеспячэння харчовай бяспекі // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 86–88.
31. Смеянович О. Ф., Босак В. Н. Энергетическая эффективность применения органических удобрений // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы. – Пинск: ПолесГУ, 2009. – Ч. II. – С. 65–66.
32. Цвирков В. В., Босак В. Н. Влияние минеральных и органических удобрений на продуктивность горохо-ячменной смеси на дерново-подзолистой супесчаной почве // Современные технологии сельскохозяйственного производства. – Гродно: ГГАУ, 2008. – С. 133–134.
33. Состав и эффективность различных видов органических удобрений / В. Н. Босак, Т. М. Серая, В. В. Цвирков и др. // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 6. – С. 39–42.