

**Роман ШЕВЧЕНКО,  
Викторія КОМПАНІЕЦ**

## **УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОГАЗА**

*Биогазовая утилизация – привлекательный сегмент биоэнергетики, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами возобновляемого источника энергии (ВИЭ). Установлено, что перспективным способом увеличения выхода биогаза является комплексная утилизация отходов на пищевых предприятиях, благодаря чему группы органических соединений, участвующих в метаногенезе, становятся более доступными для протекания стадий анаэробного брожения.*

*Ключевые слова:* биогазовая утилизация, комплексная биоутилизация, биогаз, комплексная переработка отходов.

*Шевченко Р., Компанієць В. Утилізація відходів харчової промисловості із застосуванням біогазу. Біогазова утилізація – привабливий сегмент біоенергетики, яка має низку переваг порівняно з іншими видами відновлювального джерела енергії (ВДЕ). Встановлено, що перспективним способом збільшення виходу біогазу є комплексна утилізація відходів на харчових підприємствах, завдяки чому групи органічних сполук, що беруть участь у метаногенезі, стають більш доступними для протікання стадій анаеробного бродіння.*

*Ключові слова:* біогазова утилізація, комплексна біоутилізація, біогаз, комплексна переробка відходів.

**Постановка проблемы.** Воздействие на окружающую среду пищевых предприятий обусловлено прежде всего образованием жидких и твердых органических отходов, которые, разлагаясь, загрязняют водоемы, почву. Существует много методов обезвреживания отходов или минимизации их воздействия – сточные воды очищают, твердые отходы перерабатывают, при этом также осуществляется негативное влияние на окружающую среду [1]. Очистные сооружения сточных вод занимают значительные площади, требуют существенных материальных затрат и энергии, возникает проблема утилизации избыточного ила, в атмосферу выделяется углекислый газ. Складирование на полигонах твердых бытовых отходов на сегодняшний день является основным способом утилизации твердых отходов пищевых производств, поскольку их переработка часто является экономически нецелесообразной.

Технологии утилизации отходов пищевых производств, которые сегодня используются, малоэффективны. Более эффективным может быть их анаэробное сбраживание с получением высококачественных

удобрений и энергетического продукта – биогаза. Большинство исследований и публикаций на сегодняшний день посвящены анаэробному сбраживанию растительной биомассы, а не пищевых отходов, что делает последнее направление актуальным. К тому же, количество полученного биогаза из пищевых отходов на выходе значительно выше, чем из растительной биомассы [2].

Проблема получения биогаза на основе метанового брожения освещена в ряде научных трудов отечественных и зарубежных ученых В. Баадер и Е. Доне [3], М. Е. Бекера, Г. К. Лиепиньша, Е. П. Райпулиса [4], Г. А. Никитина [5], Tan Venilda V. [6], где обобщены многолетние исследования. Отдельные работы рассматривают химическую и биохимическую сторону этого процесса [4], аппаратурное оформление при промышленной реализации метанового брожения [3]. Научных трудов, имеющих практическое значение для получения биогаза из отходов пищевой промышленности, очень мало. Но еще меньше научных исследований в области получения биогаза из многокомпонентного субстрата при комплексной переработке пищевых отходов [7, с. 108–111].

Современные публикации и научные труды касаются сбраживания твердой и жидкой фазы отходов, как пищевой, так и растительной биомассы. Например, ученые Ф. Бауер и М. Д. Мельниченко [8] в своей патентной работе описывают способ производства биогаза и получения удобрений из многокомпонентного субстрата. Известно ряд технологических решений для переработки пищевых отходов со сроком окупаемости 5–10 лет ("РосБиогаз" и "ZorgBiogas"). Однако нет публикаций и научных трудов, которые бы давали общее представление о протекании процесса метаногенеза и подробно описывали технологию переработки многокомпонентного субстрата: факторы, на основании которых выбираются такие сложные аппаратурные композиции; сроки и способы оптимизации субстратов; графики и таблицы для выбора оптимальных условий сбраживания и т. д.

*Цель работы* – при исследовании общих закономерностей процесса получения биогаза из многокомпонентного субстрата подобрать его оптимальный состав, а в дальнейшем разработать средства для уменьшения нагрузки на окружающую среду агропромышленных предприятий кооперированного типа.

**Материалы и методы.** Объекты исследований – три экспериментальных образца: № 1 – говядина (мясные отходы в качестве белковой смеси); № 2 – фруктово-овощные отходы (углеводная смесь); № 3 – жиросодержащие отходы. Компонентный состав смесей отходов указанных образцов, а также многокомпонентного субстрата (образец № 4) определены физико-химическим анализом [9–20]. При проведении исследования использовали такие методы: газовая хроматография [21]

и метод математическо-статистической обработки данных (с помощью программы *Excel*).

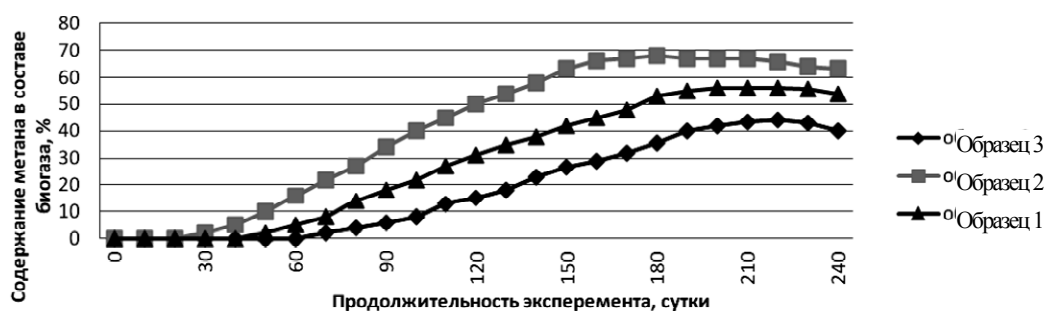
**Результаты исследований.** Компонентный состав экспериментальных образцов смесей представлен в *табл. 1*.

Таблица 1

**Компонентный состав образцов,  
принятых за "эталонные" смеси отходов**

Номер образца	Смеси отходов, % масс		
	белковые	жировые	углеводные
1	98–99	0–1	0–1
2	0–2	–	98–99
3	3–5	72–76	21–23

На основании данных хроматографического анализа проб биогаза [21], полученного в ходе эксперимента, построены графические зависимости, образования метана от времени разложения образцов отходов (*рис. 1*).



*Рис. 1.* Динамика образования метана в составе биогаза при разложении трех образцов отходов, принятых за "эталонные" смеси (при  $t = 40$  °С,  $W = 65$  %)

На графике четко видно начало метановой фазы разложения отходов: в образце № 1 – через 41 сутки, № 2 – через 21 сутки, № 3 – через 61 сутки. Наибольшее содержание метана образуется при разложении образца № 2 – 68 %, а наименьшее – при разложении образца № 3. Такие графики вполне могут лечь в основу моделирования процесса метаногенеза многокомпонентного субстрата благодаря экспериментальным исследованиям и статистической обработке данных в программе *Excel*.

На *рис. 2* смоделировано динамику образования метана в составе биогаза, полученного в ходе экспериментальной деструкции многокомпонентного субстрата, химический состав которого указан в *табл. 2* [22], и данные хроматографического анализа проб биогаза, полученных в ходе эксперимента метаногенеза образца № 4.

Таблица 2

**Компонентный состав образца № 4, принятый за модель  
многокомпонентного субстрата предприятия кооперированного  
типа ООО "Титан"**

Вид отходов	Влаж-ность, %	Химический состав, % сухого вещества					
		углеводы		белки	жиры	зола	другие
		моно-и олиго-сахара, крахмал	клет-чатка				
Технические жиры	50	–	–	–	40	–	60
Мясо некондиционное и мясные отходы	77	2	–	54.3	24.3	2.3	17.1
Сыворотка: подсырная	93.5	4.8	–	0.8	0.4	–	0.5
творожная	94.1	4.2	–	0.8	0.3	–	0.6
Солодовые ростки	43.28	–	13.1	22.9	–	–	22.72
Пивная дробина	54.44	–	16.3	21.7	–	–	10.56
Барда	39.1	–	25.4	14.9	–	–	20.6

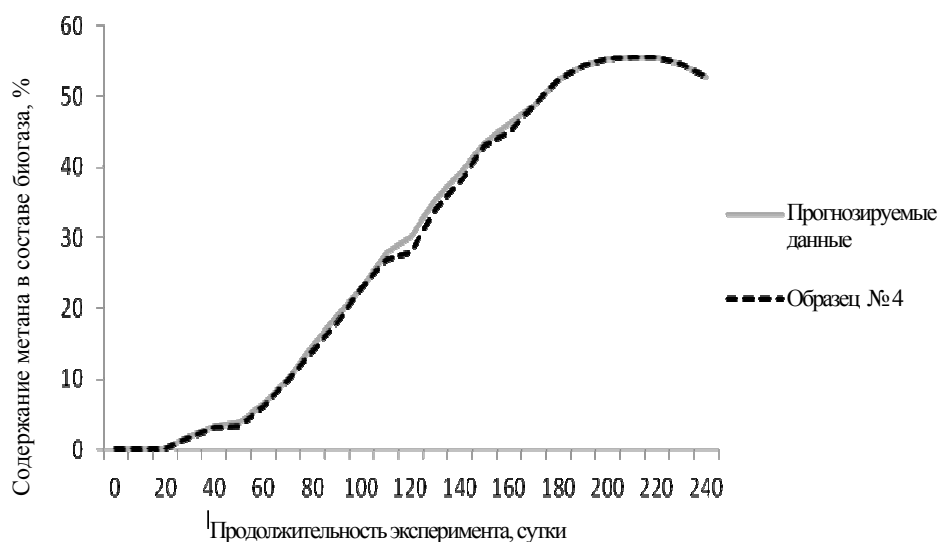


Рис. 2. Динамика образования метана в составе биогаза при разложении образца № 4 (при  $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 65\%$ )

Существует ряд факторов (температура, влажность среды, уровень рН, соотношение С : N : P, площадь поверхности частиц сырья, частота подачи субстрата, замедляющие вещества, стимулирующие добавки), влияющих на процесс метаногенеза, которые стоит учи-

тывать при моделировании процесса. Благодаря тщательному подбору субстратов и правильно построенной технологической схеме их сбраживания можно компенсировать многие недостатки одного субстрата другим.

Комплексная утилизация отходов пищевых производств с получением биогаза усложняется также возможностью содержания вредных для развития микроорганизмов веществ (солей тяжелых металлов [23], ПАВ, пестицидов, горюче-смазочных материалов, патогенных микроорганизмов и пр.), что накладывает некоторые требования относительно их транспортировки, хранения и предварительной обработки.

Сегодня биогазовое оборудование хотя и стоит достаточно дорого, но благодаря максимальному выделению биогаза в процессе его образования цена компенсируется повышенным эффектом от использования полученного биогаза, а также обезвреживания отходов на пищевых предприятиях.

**Выводы.** Разработка технологии комплексной утилизации отходов с получением биогаза должна содержать следующие основные этапы:

- 1) комплексный химический анализ отходов, включая определение солей тяжелых металлов и других контаминантов;
- 2) проведение исследований по "активации" отходов, т. е. по переводу их в доступную для микроорганизмов форму;
- 3) определение оптимальных условий жизнедеятельности метаногенных бактерий, в том числе соотношения основных питательных веществ (например, соотношение C : N);
- 4) определение реального выхода биогаза для всех отходов и их комбинаций;
- 5) определение оптимальных параметров комплексной утилизации отходов с получением биогаза.

Перспективным способом увеличения выхода биогаза является комплексная утилизация отходов на пищевых предприятиях, благодаря чему группы органических соединений, участвующие в метаногенезе, становятся более доступными для протекания стадий анаэробного брожения.

Сложившееся энергетическое положение страны подчеркивает перспективность дальнейших исследований в области анаэробной технологии сбраживания многокомпонентного субстрата предприятий кооперированного типа.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Методы* обезвреживания отходов. — Режим доступа : [<http://uchebnikfree.com/page/dikanuch/ist/ist-3--idz-ax233--nf-37.html>].
2. *Шевченко Р. І.* Еколого-енергетичне обґрунтування біогазових технологій / Р. І. Шевченко, В. В. Компанієць // Харчова наука і технологія. — № 3. — 2012. — С. 87—89.
3. *Баадер В.* Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне ; пер. с нем. М. И. Серебряного. — М. : Колос, 1982. — 148 с.

4. Бекер М. Е. Биотехнология / Бекер М. Е., Лиепиньш Г. К., Райпулис Е. П. — М. : Агропромиздат, 1990. — 334 с.
5. Никитин Г. А. Метановое брожение в биотехнологии / Г. А. Никитин. — К. : Вища школа, 1990. — 207 с.
6. Tan Benilda V. Anaerobic digestion of some fruit processing wastes for biogas production / Tan Benilda V. [Alternative Energy Sources VIII. Proc. Sec. Non-Sol]. — Energy Sth Miami Int. Conf., Miami Beach. Fla. 14–16 Dec. 1997. — Vol. 1. — New York, 1999. — P. 855–863.
7. Корзникова М. В. Оценка степени конверсии органического вещества отходов животноводства и птицеводства в биогаз (на примере РФ) / Корзникова М. В., Блохин А. Ю., Козлов Ю. П. // Вестн. Воронежского гос. ун-та. — № 2. — 2008. — С. 108–111. — (Серия "Химия. Биология. Фармация").
8. Патент № 48730. — Режим доступа : [<http://base.ukrpatent.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=143644&chapter=description>].
9. ГОСТ 9793–74. Продукты мясные. Методы определения влаги. — Режим доступа : [<http://vsegost.com/Catalog/36/36372.shtml>].
10. ГОСТ 29301–92. Продукты мясные. Метод определения крахмала. — Режим доступа : [<http://vsegost.com/Catalog/10/10112.shtml>].
11. ГОСТ 25011–81. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. — Режим доступа : [<http://vsegost.com/Catalog/22/22400.shtml>].
12. ГОСТ 23042–86. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. — Режим доступа : [<http://vsegost.com/Catalog/12/12259.shtml>].
13. ГОСТ Р 53642–2009. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли общей золы. — Введ. 2009–15–12. — М. : Стандартиформ, 2010. — 12 с.
14. ГОСТ 3626–73. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. — Введ. 1974–01–07. — М. : Издательство стандартов, 1973. — 12 с.
15. ГОСТ Р 51259–99 (ДИН 10344–82). Молоко и молочные продукты. Метод определения лактозы и галактозы. — Режим доступа : [<http://docs.cntd.ru/document/1200028141>].
16. ГОСТ 23327–98. Молоко и молочные продукты. Метод измерения массовой доли общего азота по Кьельдалю и определение массовой доли белка. — Введ. 2000–01–01. — Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. — 8 с.
17. ГОСТ 5867–90. Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. — Введ. 1990–26–07. — М. : Стандартиформ, 2006. — 15 с.
18. ГОСТ 13496.3–92. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги. — Введ. 1993–01–01. — М. : Стандартиформ, 1992. — 4 с.
19. ГОСТ 13496.4–93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги. — Введ. 1995–01–05. — Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. — 17 с.
20. ГОСТ 13496.2–91. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения сырой клетчатки. — Режим доступа : [<http://standartgost.ru/ГОСТ%2013496.2-91>].
21. ГОСТ 31371.3–2008. Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. — Введ. 2008–06–06. —

- Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Стандартиформ, 2009. — 16 с.
22. Шевченко Р. І. Перспективи комплексної переробки відходів харчових виробництв на біогаз / Р. І. Шевченко, В. В. Компанієць // Новітні тенденції у харчових технологіях та якість і безпечність продуктів : зб. наук. пр. ; 5-та Всеукраїнська наук.-практ. конф., 5—6 квіт. 2013 р. — Л. : ЛІЕТ, 2013. — С. 114—116.
23. Тяжелые металлы. — Режим доступа : [<http://www.dietolog.org/components/food-toxins/heavy-metals>].

Стаття надійшла до редакції 07.02.2013

*Shevchenko R., Kompaniets V. Utilization of waste in the food industry with biogas.*

**Background.** Biogas utilization is an attractive segment of the bioenergy. However, biogas fermentation in livestock waste is characterized by relatively low values of output, especially compared with the processing of food waste which decomposition adversely affects the environment. Promising bases for such processing may be food enterprises of cooperative manufacturing on the basis of common industrial sites.

**Material and methods.** For the modeling of methane genesis a series of experiments was conducted. The study material is a series of samples of waste of different chemical composition, one of which – a model of multi-component substrate. The following research methods were used: laboratory (GOST 31371.3–2008) and methods of mathematical and statistical data processing.

**Results.** On the basis of chromatographic analysis of samples of biogas generated during the experiment image dependence of formation of methane on time of decomposition of waste samples were designed. Experimental data and its mathematical-statistical analysis shows that in the steady state of methane phase of anaerobic fermentation of complex waste utilization by company Ltd "Titan", the methane content in biogas varies in the range of 54–55 %.

**Conclusion.** Complex processing of food waste of cooperative enterprises is very relevant today. Bio fertilizers derived from food waste methane genesis are highly effective, and biogas is an alternative source of energy that can be used for various domestic and industrial needs.

*Key words:* biogas utilization, comprehensive bio utilization, biogas, integrated waste processing

REFERENCES

1. *Metody obezvrezhivaniya otkhodov.* — Rezhim dostupa : [<http://uchebnikfree.com/page/dikanuch/ist/ist-3--idz-ax233--nf-37.html>].
2. *Shevchenko R. I. Ekologo-energetichne obruntuvannya bogazovikh tekhnologij / R. Shevchenko, V. V. Kompants // Kharchova nauka tekhnologiya.* — № 3. — 2012. — S. 87—89.
3. *Baader V. Biogaz: teoriya i praktika / V. Baader, E. Done ; per. s nem. m. i. serebryanogo.* — М. : Kolos, 1982. — 148 s.
4. *Beker M. E. Biotekhnologiya / Beker M. E., Liepinsh G. K., Rajpulis E. P.* — М. : Agropromizdat, 1990. — 334 s.
5. *Nikitin G. A. Metanovoe brozhenie v biotekhnologii / G. A. Nikitin.* — К. : Vischa shkola, 1990. — 207 s.
6. *Tan Benilda V. Anaerobic digestion of some fruit processing wastes for biogas production / Tan Benilda V. / Alternative Energy Sources VIII. Proc. Sec. Non-Sol/*

- Energy Sth Miami Int. Conf., Miami Beach. Fla. 14–16 Dec. 1997. — Vol. 1. — New York, 1999. — P. 855—863.
7. Korznikova M. V. Otsenka stepeni konversii organicheskogo veschestva otkhodov zhivotnovodstva i ptitsevodstva v biogaz (na primere rf) / Korznikova M. V., Blokhin A. Yu., Kozlov Yu. P. // Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta. — № 2. — 2008. — S. 108—111. — (Seriya "Khimiya. Biologiya. Farmatsiya").
  8. Patent 48730. — Rezhim dostupa : [<http://base.ukrpatent.org/searchinv/search.php?action=viewdetails&idclaim=143644&chapter=description>].
  9. GOST 9793–74. Produkty myasnye. Metody opredeleniya vlagi. — Rezhim dostupa : [<http://vsegost.com/catalog/36/36372.shtml>].
  10. GOST 29301–92. Produkty myasnye. Metod opredeleniya krakhmala. — Rezhim dostupa : [<http://vsegost.com/catalog/10/10112.shtml>].
  11. GOST 25011–81. Myaso i myasnye produkty. Metody opredeleniya belka. — Rezhim dostupa : [<http://vsegost.com/catalog/22/22400.shtml>].
  12. GOST 23042–86. Myaso i myasnye produkty. Metody opredeleniya zhira. — Rezhim dostupa : [<http://vsegost.com/catalog/12/12259.shtml>].
  13. GOST r 53642–2009. Myaso i myasnye produkty. Metod opredeleniya massovoj doli obschej zoly. — Vved. 2009—15—12. — M. : Standartinform, 2010. — 12 s.
  14. GOST 3626–73. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya vlagi i sukhogo veschestva. — Vved. 1974—01—07. — M. : Izdatelstvo standartov, 1973. — 12 s.
  15. GOST R 51259–99 (din 10344–82). Moloko i molochnye produkty. Metod opredeleniya laktozy i galaktozy. — Rezhim dostupa : [<http://docs.cntd.ru/document/1200028141>] — 8 s.
  16. GOST 23327–98. Moloko i molochnye produkty. Metod izmereniya massovoj doli obshego azota po keldalyu i opredelenie massovoj doli belka. — Vved. 2000—01—01. — Minsk : Mezghos. sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, 1998 — 8 p.
  17. GOST 5867–90. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya zhira. — Vved. 1990—26—07. — M. : Standartinform, 2006. — 15 s.
  18. GOST 13496.3–92. Kombikorma, kombikormovoe syre. Metody opredeleniya vlagi. — Vved. 1993—01—01. — M : Standartinform, 1992. — 4 s.
  19. GOST 13496.4–93. Korma, kombikorma, kombikormovoe syre. Metody opredeleniya vlagi. — vved. 1995—01—05. — Minsk : Mezghos. sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii, 1993. — 17 s.
  20. GOST 13496.2–91. Korma, kombikorma, kombikormovoe syre. Metod opredeleniya syroj kletchatki. — Rezhim dostupa : [<http://standartgost.ru/gost%2013496.2-91>].
  21. GOST 31371.3–2008. Gaz prirodnyj. Opredelenie sostava metodom gazovoj khromatografii s otsenkoy neopredelennosti. — Vved. 2008—06—06. — Minsk : mezghos. sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii : M. : Standartinform, 2009. — 16 s.
  22. Shevchenko R. I. Perspektivi kompleksno pererobki vdkhodv kharchovikh virobnitstv na bogaz / R. I. Shevchenko, V. V. Kompaniets // Novtny tendents u kharchovikh tekhnologyakh ta yakist i bezpechnist produktiv : zb. nauk. pr. ; 5 vseukranska nauk.-prakt. konf., 5–6 kv. 2013 r. — L. : LIET, 2013. — P. 114—116.
  23. Tyazhelye metaly. — Rezhim dostupa : [<http://www.dietolog.org/components/food-toxins/heavy-metals>].