

# ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

М.В. Корзникова, А.Ю. Блохин, Ю.П. Козлов

Кафедра системной экологии  
Экологический факультет  
Российский университет дружбы народов  
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

При анаэробном процессе биоконверсии органических веществ отходов животноводства и птицеводства получают биогаз, являющийся важным источником энергии. По сравнению с другими энергоносителями биогаз обладает такими преимуществами, как возобновляемость; наличие местных источников сырья для получения топлива, исключающих транспортную составляющую; снижение парникового эффекта; снижение зависимости от поставщиков ископаемых видов топлив; осуществление экологически замкнутой энергетической системы, что в настоящее время становится особенно актуальным.

Биогаз получают и используют во всем мире. Страны ЕС к 2010 г. планируют получить дополнительной энергии за счет использования биомассы в размере 90 млн т нефтяного эквивалента (н.э.), из них 15 млн т н.э. — за счет использования биогаза [1].

Состав и основные характеристики составляющих биогаза, получаемого при анаэробном сбраживании отходов животноводства и птицеводства, представлены в таблице 1 [2; 3].

Таблица 1

Состав и характеристики составляющих биогаза отходов животноводства и птицеводства

Составляющие биогаза	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
Объемная концентрация, %	55—70	27—44	1—4	2—4	1—4	1—3	1—2	0,2—0,4	0,1—1
Низшая теплота сгорания сухого газа, ккал/м <sup>3</sup>	8 550,0	—	2 570,0	—	3 050,0	21 000,0*	—	—	5 470,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	0,714	1,977	0,09	0,805	1,25	1,261*	1,25	1,43	1,536

Примечание: \* — значения характеристик дано для C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

Как следует из таблицы 1, основными составляющими биогаза являются метан (55—75% об.) и диоксид углерода (27—44% об.), а теплотворная способность биогаза определяется содержанием в нем метана как горючего компонента. В зависимости от содержания метана (55—70%) теплотворная способность биогаза составляет 4700—6000 ккал/м<sup>3</sup> (20—25 МДж/м<sup>3</sup> или 0,68—0,85 кг условного топлива) соответственно.

Разнообразие видового состава бактерий, входящих в метаногенный биоценоз, позволяет использовать для получения биогаза практически все виды жидких и твердых субстратов (в т.ч. отходов), содержащих органические веще-

ства, для их анаэробной биоконверсии. Органические вещества можно разделить на три класса, каждому из которых соответствует определенный теоретический выход метана [4]:

- углеводы — 0,42—0,47 м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/кг;
- белки — 0,45—0,55 м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/кг;
- липиды — до 1 м<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/кг.

Эти значения согласуются с данными [5], где приводится информация об удельном выходе биогаза, его составе и степени распада органических веществ (табл. 2).

Таблица 2

**Состав и выход биогаза при сбраживании органических веществ**

Группа органических веществ	Удельный выход биогаза, м <sup>3</sup> /кг	Степень распада, %	Состав биогаза, %		Плотность газа (при 20 °С), кг/м <sup>3</sup>
			CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	
Углеводы	0,79	64*	50	50	1,25
Липиды	1,25	70	68	32	1,05
Белки	0,704	47	71	29	1,01

Примечание: \* — в таблице указана максимальная степень распада углеводов.

С учетом экранирующего действия лигнина, не подверженного конверсии, в зависимости от его содержания различна степень биоконверсии углеводов. В таблице 3 приведены значения содержания лигнина в органическом веществе навоза и помета [6].

Таблица 3

**Содержания лигнина в органическом веществе (VS) навоза и помета**

Субстрат	Содержание лигнина, % от органического вещества субстрата
Навоз дойных коров	12
Навоз КРС (кроме коровьего)	8
Навоз свиной	2,2
Помет куриный	3,4

Степень конверсии углеводов различных субстратов в зависимости от содержания лигнина может быть определена следующим образом [7]:

$$\text{Степень конверсии углеводов} = 64 - (2,8 \cdot \text{Содержание лигнина в VS, \%}), \%$$

Таким образом, для группы углеводов навоза и помета степень распада будет иметь следующие значения (табл. 4).

Таблица 4

**Расчетные значения степени распада углеводов органического вещества навоза и помета**

Субстрат	Степень распада углеводов, %
Навоз дойных коров	30
Навоз КРС (кроме коровьего)	42
Навоз свиной	58
Помет куриный	54

Зная состав органической составляющей субстрата, можно определить выход и состав биогаза:

$$V(\text{CH}_4) = (Y \cdot 0,79 \cdot 0,64^* \cdot 0,5 + Л \cdot 1,25 \cdot 0,7 \cdot 0,68 + \\ + Б \cdot 0,704 \cdot 0,47 \cdot 0,71), \text{ м}^3 \text{ CH}_4/\text{кг VS}; \quad (1)$$

$$V(\text{CO}_2) = (Y \cdot 0,79 \cdot 0,64^* \cdot 0,5 + Л \cdot 1,25 \cdot 0,7 \cdot 0,32 + \\ + Б \cdot 0,704 \cdot 0,47 \cdot 0,29), \text{ м}^3 \text{ CO}_2/\text{кг VS}; \quad (2)$$

$$V(\text{БГ}) = V(\text{CH}_4) + V(\text{CO}_2), \text{ м}^3/\text{кг VS}, \quad (3)$$

где  $V(\text{CH}_4)$  — удельный выход метана с 1 кг сухого органического вещества,  $\text{м}^3 \text{CH}_4/\text{кг VS}$ ;

$V(\text{CO}_2)$  — удельный выход углекислого газа с 1 кг сухого органического вещества,  $\text{м}^3 \text{CO}_2/\text{кг VS}$ ;

Y, Л, Б — содержание углеводов, липидов и белков в сбраживаемом субстрате соответственно кг/кг сухого веса субстрата;

0,79; 1,25; 0,704 — значения удельного выхода биогаза (БГ) для углеводов, липидов и белков соответственно,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;

0,64\*; 0,7; 0,47 — степень распада углеводов, липидов и белков соответственно;

\* — для субстратов с различным значением лигнина вместо 0,64 степень распада принимать по таблице 3.5;

0,5; 0,68; 0,71; и 0,5; 0,32; 0,29 — содержание  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  при распаде углеводов, липидов и белков соответственно.

На основании данных о составе органических веществ экскрементов различных сельскохозяйственных животных, птицы по формулам (1)—(3), с использованием значений таблицы 4 нами были рассчитаны значения выхода и состава биогаза (табл. 5).

Таблица 5

**Состав и выход биогаза при сбраживании различных отходов животноводства и птицеводства**

Вид субстрата	Удельный выход $\text{CH}_4$ , $\text{м}^3/\text{кг VS}$ субстрата	Удельный выход $\text{CO}_2$ , $\text{м}^3/\text{кг VS}$ субстрата	Удельный выход биогаза, $\text{м}^3/\text{кг VS}$ субстрата	Удельный выход $\text{CH}_4$ , $\text{м}^3/\text{кг}$ субстрата*	Удельный выход $\text{CO}_2$ , $\text{м}^3/\text{кг}$ субстрата*	Удельный выход биогаза, $\text{м}^3/\text{кг}$ субстрата*	Состав биогаза, %	
							$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$
Навоз свиной	0,212	0,168	0,380	0,165	0,131	0,297	55,7	44,3
Навоз дойных коров	0,137	0,102	0,239	0,114	0,085	0,199	57,2	42,8
Навоз бычков на откорме	0,175	0,135	0,309	0,148	0,114	0,263	56,5	43,5
Помет куриный	0,174	0,124	0,298	0,117	0,083	0,199	58,4	41,6

\* Содержание сухого органического вещества в твердом субстрате (VS/TS) составляет 78%, 83%, 85%, 67% и 67% для экскрементов свиней, коров, остального КРС, овец и кур соответственно [8; 9].

Зачастую состав органической части сбраживаемого субстрата неизвестен. Однако, несмотря на сложность компонентного состава органических веществ и многочисленность биохимических реакций процесса метанового сбраживания, предлагаются эмпирические формулы различных субстратов Sobotka [10] (табл. 6).

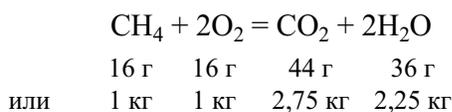
Таблица 6

**Эмпирические молекулярные формулы органической фракции навоза и помета**

Вид навоза (помета)	Молекулярная формула органической фракции
Навоз свиной	$CH_{1,655}O_{0,767}N_{0,0634}$
Навоз коровий	$CH_{1,773}O_{0,830}N_{0,056}$
Навоз КРС (кроме коровьего)	$CH_{1,820}O_{0,880}N_{0,042}$
Помет домашней птицы	$CH_{1,864}O_{0,909}N_{0,113}$

Теоретический потенциал получения биогаза в Российской Федерации от отходов животноводства и птицеводства может быть рассчитан исходя из данных о ежегодно образуемых (с учетом пастбищного периода) отходах и значений удельного выхода биогаза от различных отходов. Расчет показал, что теоретически в Российской Федерации, если все образуемые отходы животноводства и птицеводства будут подвергнуты анаэробному сбраживанию, то выход биогаза составит более 9 млрд м<sup>3</sup>/год, что соответствует энергетическому потенциалу более 180 000 ТДж/год, или 6,4 млн т.у.т/год (1000 т.у.т. = 29,309ТДж, или 1ТДж = 34,119 т.у.т).

Экологический эффект утилизации биогаза состоит в предотвращении поступления в атмосферу парникового метана, на 55—70% об. составляющего биогаз (в расчетах используется значение, равное 58%), в 21 раз превышающего вклад диоксида углерода в парниковый эффект:  $CH_4 = 21CO_2$  — эквивалент [11]. Диоксид углерода биогаза (27—44% об.), считается природным, не вносящим вклада в парниковый эффект, однако учету в качестве парникового подлежит диоксид углерода, образующийся в результате сжигания метана биогаза:



Т.е. при сжигании 1 кг метана теоретически образуется 2,75 кг диоксида углерода.

В результате экологический эффект сокращения парниковых газов при утилизации биогаза, который мог бы быть получен от отходов животноводства и птицеводства в Российской Федерации, составляет 90 млн т  $CO_2$ -эквивалента/год.

Утилизируемый биогаз может быть использован для различных целей: получение тепловой энергии (прямое сжигание в паровых или водогрейных котлах, КПД = 88—92%), а также использование в газовых горелках для приготовления пищи; получение тепловой и электрической энергии (когенерация, в среднем общий КПД = 85%), в т.ч. 33% по электрической энергии, 52% по тепловой энер-

гии); получение тепловой, электрической энергии и холода (тригенерация); использование биогаза в качестве моторного топлива для транспорта (предварительно из биогаза удаляют диоксид углерода, доводя содержание метана в биогазе до 95%, удаляют сероводород как коррозионный газ и осушают); подача биогаза с улучшенными характеристиками в централизованную газовую сеть.

Принятие решения об использовании биогазовых технологий определяется в зависимости от приоритета поставленных задач: энергетическая (получение энергии от использования топливного биогаза), экологическая (обеззараживание отходов, утилизация парникового биогаза), агрохимическая (получение высококачественных удобрений), экономическая (получение прибыли от реализации удобрений, сокращение платежей за загрязнение окружающей среды), социальная (улучшение условий труда и создание новых рабочих мест) или достижение результатов в комплексе.

В настоящее время энергопотребление в агропромышленном комплексе составляет 1,8 т.у.т./год на одного человека [12]. По данным Федеральной службы государственной статистики население, занятое в сельском хозяйстве, составляет 38,4 млн человек [13]. Таким образом, энергопотребление в сельском хозяйстве можно оценить в 70 млн т.у.т./год. Теоретически доля биогаза в энергопотреблении АПК могла бы составлять 9%, или 6,4 млн т.у.т., 55% из которых приходится на долю биогаза от отходов скота и птицы, выращиваемых на сельхозпредприятиях, 42% — хозяйств населения и 3% — крестьянских (фермерских) хозяйств.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Energy for the future: renewable sources of energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan / European Commission, COM(97)599 final (26/11/1997).
- [2] ГОСТ 12.1.011-78. Система стандартов безопасности труда. Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний.
- [3] Jonas J., Petrikova V. Vyuziti exkrementu hospodarskych zvirat / Statni zemedelske nakladatelstvi (In Polish). — Praha, 1988.
- [4] Чурбанова И.Н. Микробиология. — М.: Высшая школа, 1987.
- [5] Винаров А.Ю., Кухаренко А.А., Инамова Т.В., Бурмистров Б.В. Биотехнология переработки отходов животноводства и птицеводства в органическое удобрение. — М.: ФИПС, 1998.
- [6] Richard T. The Effect of Lignin on Biodegradability. — 2000. — <http://www.bulkmsm.com/research/msm/page30.htm#2>
- [7] Chandler J.A., Jewell W.J., Gossett J.M. et al. Predicting methane fermentation biodegradability // Proceeding Biotechnology and Bioengineering Symposium. — 1980. — P. 93—107.
- [8] Flachowsky G., Hennig A. Composition and digestibility of untreated and chemically treated animal excreta for ruminants: a review // Biological Wastes. — 1990. — Vol. 31. — P. 17—25.
- [9] Varel V. H., Isaacson H. R. and Bryant M. P. Thermophilic Methane Production from Cattle Waste // Applied and Environmental Microbiology. — 1977. — Vol. 33. — № 2. — P. 298—307.
- [10] Sobotka M., Votruba J., Havlik I., Minkevich I.G. The mass energy balance of anaerobic methane production // Folia microbial. — 1983. — Vol. 28. — P. 195—204.
- [11] Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, открыт для подписания 16 марта 1998 года // Собрание законодательства Российской Федерации. — 1999. — № 7. — Ст. 942.

- [12] *Кашин В.И.* Проблемы топливо- и энергообеспечения агропромышленного комплекса России // *Круглый стол № 2* в рамках второго всероссийского Энергетического форума «ТЭК России в XXI веке» (март 2004 г., Москва, Кремль).
- [13] Численность населения // *Материалы официального сайта Федеральной службы государственной статистики*, Москва — [http://www.gks.ru/free\\_doc/2005/b05\\_13/04-02.htm](http://www.gks.ru/free_doc/2005/b05_13/04-02.htm)

## **RECEIVING AND UTILIZATION OF BIOGAS IN RUSSIAN FEDERATION BY PROCESSING OF THE AGRICULTURAL PRODUCTION**

**M.N. Korzinkina, A.U. Blohin, U.P. Kozlov**

Chair of system ecology  
Ecological faculty  
Russian Friendship Peoples University  
*Podolskoe str., 8/5, Moscow, Russia, 113093*

It is the purpose of the present communication to demonstrate that the receiving and utilization of biogas by processing of the agricultural production in Russian Federation are major problem.