

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ В ЦЕЛЯХ МИНИМИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТХОДАМИ ЖИВОТНОВОДСТВА И ПТИЦЕВОДСТВА

М.В. Корзникова^{1,2}, Ю.П. Козлов^{1,2}

*¹Экологический факультет, Российский университет дружбы народов,
Подольское шоссе, 8/5, 113093, Москва, Россия;*

*²Отдел биохимических проблем экологии, Институт биохимии им. А.Н.Баха РАН,
Ленинский проспект, 33, 119071, Москва, Россия*

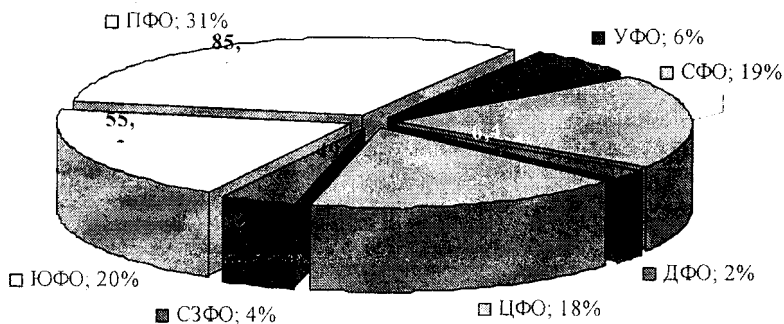
Экологическая задача по минимизации загрязнения окружающей среды отходами животноводства и птицеводства может быть решена с помощью использования технологии анаэробного сбраживания (биогазовая технология). Кратко описана данная технология, и рассмотрены преимущества. Оценен энергетический потенциал использования биогаза в Российской Федерации и экологический эффект сокращения парниковых газов.

Образующееся во всем мире огромное количество отходов различных отраслей промышленности, сельскохозяйственного производства и коммунального хозяйства остро ставит проблему разработки и внедрения наиболее эффективных технологий по очистке, обезвреживанию и утилизации отходов в целях минимизации загрязнения окружающей среды.

Количество образующихся в сельском хозяйстве отходов животноводства и птицеводства, их химический и микробиологический состав позволяют считать животноводческие и птицеводческие комплексы опасными для окружающей среды.

Ежегодно в хозяйствах всех категорий Российской Федерации от различных видов животных, птицы образуется около 280 млн.т экскрементов (без учета подстилочных материалов и технической воды — при гидравлическом способе удаления навоза), увеличивающей исходное количество отходов в 1,5-3,5 раза. Преобладающим видом отходов является навоз КРС — 80% от общего количества отходов животноводства и птицеводства или 232 млн. т/год, в том числе 132 млн. т/год, образуемых на сельхозпредприятиях. Вторым по объему видом отходов является свиной навоз — 10% от общего количества отходов или 28 млн.т/год, из которых на сельхозпредприятиях образуется 15 млн.т/год (рис. 1, 2).

Характеристики экскрементов животных, птицы зависят от усвояемости и состава кормового рациона. Навоз и помет содержат органические и неорганические вещества. Питательные элементы (азот, фосфор, калий) содержатся как в растворимой, легкодоступной форме, так и в составе органических соединений и переходят в доступную для растений форму после их минерализации. Микробиологический состав экскрементов животных представлен большим количеством микроорганизмов, которые выносятся из желудочно-кишечного тракта. Наряду с сапрофитной микрофлорой в экскрементах животных часто обнаруживаются при отсутствии клинических признаков болезни патогенные микроорганизмы: туберкулезные бактерии, бруцеллы, сальмонеллы, стафилококки, яйца гельминтов, сохраняющие жизнеспособность от нескольких недель до года.



ФО – Федеральный округ; Ц – Центральный; СЗ – Северо-Западный; Ю – Южный; П – Приволжский; У – Уральский; С – Сибирский; Д – Дальневосточный

Рис. 1. Количество образуемых экскрементов в животноводстве и птицеводстве в различных хозяйствах Федеральных округов РФ (2004г), млн.т/год



Рис. 2. Процентное соотношение численности различных видов животных, птицы в хозяйствах различных категорий

Отходы животноводства и птицеводства, с одной стороны, являются ценным органическим удобрением, в состав которого входят практически все необходимые компоненты минерального питания, микроэлементы в доступном для растений виде, а, с другой стороны, являются потенциальными источниками распространения возбудителей болезней, содержат семена сорных растений.

Подготовка навоза и помета к использованию может быть осуществлена различными способами — физическими, химическими и биологическими и их комбинацией. В настоящее время наиболее широко распространены биологические способы переработки органических отходов, основанные на использовании способности различных видов микроорганизмов минерализовать разнообразные органические соединения. К этому способу относится анаэробная технология.

Анаэробное сбраживание — это многостадийный процесс расщепления органических веществ, протекающий в бескислородных условиях, с образованием смеси метана и углекислого газа (биогаз). Данная технология применительно к отходам животноводства и птицеводства обладает следующими преимуществами: возможность получения обеззараженных, лишенных жизнеспособных семян растений высококачественных удобрений с полной минерализацией азота и фосфора; высокий

КПД (до 90%) превращения энергии органических веществ в биогаз, теплотворная способность которого составляет 20-25 МДж/м³ (56-70% CH₄), что соответствует 0,7-0,8 кг условного топлива; возможность получать ценные биологические активные соединения, например, витамин В₁₂ [1]. Весь сложный комплекс превращений органических веществ в метан и диоксид углерода осуществляет большое количество микроорганизмов, до нескольких сотен видов [2], среди которых преобладают бактерии. Количественный и качественный состав микрофлоры значительно зависит от состава сбраживаемых органических веществ и создаваемых условий. Преобладающими группами микроорганизмов являются гидролитические, бродильные, синтрофные и метановые бактерии, последовательно осуществляющие стадии анаэробного процесса — гидролиз, кислотогенная, ацетогенная и метаногенная стадии соответственно.

Важнейшей особенностью метановых биоценозов является наличие множества симбиотических связей между различными микроорганизмами, когда продукты жизнедеятельности одних являются питательными субстратами для других. Благодаря этому метановый биоценоз является очень «пластичным» микробным сообществом, способным менять используемые им пути ферментации и функционировать как саморегулирующаяся система, поддерживающая значения pH, окислительно-восстановительного потенциала и термодинамическое равновесие оптимальным для роста образом и, следовательно, обеспечивающая стабильность сбраживания [3].

Анаэробное превращение практически любого сложного органического вещества в биогаз проходит пять последовательных стадий [4]:

- **дезинтеграция**, когда сложные клеточные образования распадаются на отдельные биополимеры: белки, липиды, полисахариды и др. (в том числе и в результате небиологических процессов);
- **гидролиз** высокомолекулярных соединений до соответствующих олигомеров и далее мономеров;
- **кислотогенная стадия**, в процессе которой происходит ферментация образовавшихся мономеров до летучих жирных кислот (ЛЖК), спиртов, углекислого газа и водорода. В результате дезаминирования аминокислот дополнительно образуется аммиак.
- Моносахарид $\rightarrow X_1H_2 + X_2CO_2 + X_3C_2H_5OH + X_4CH_3COOH +$ -
 $X_5C_2H_5COOH + X_6C_3H_7COOH;$ - (1)
- Аминокислота + H₂O $\rightarrow Y_1NH_2 + Y_2H_2 + Y_3CO_2 + Y_4C_2H_5OH +$ -
 $Y_5CH_3COOH + Y_6C_2H_5COOH + Y_7C_3H_7COOH;$ - (2)
- **ацетогенная стадия**, сопровождающаяся расщеплением аминокислот, а также образовавшихся на предыдущей стадии ЛЖК и спиртов с образованием ацетата, углекислого газа и водорода.
- CH₃CH(NH₂)COOH + 2H₂O $\rightarrow CH_3COOH + NH_3 + CO_2 + 2H_2;$ - (3)
- C₂H₅OH + H₂O $\rightarrow CH_3COOH + 2H_2;$ - (4)
- C₃H₇COOH + 2H₂O $\rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2;$ - (5)
- C₂H₅COOH + 2H₂O $\rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 2H_2;$ - (6)
- **метаногенная стадия**, осуществляющаяся через конверсию ацетата, а также при восстановлении углекислого газа водородом:
- CH₃COOH $\rightarrow CH_4 + CO_2;$ - (7)
- CO₂ + 4H₂ $\rightarrow CH_4 + 2H_2O.$ - (8)

Следует отметить, что не существует четкого разделения стадий процесса во времени, отдельные стадии в значительной степени синхронизированы и в кинетике процесса практически не проявляются. Тем не менее, знание их

закономерностей дает возможность, как интенсифицировать процесс анаэробного сбраживания, так и предотвращать его сбои. Кроме того, стабильное сбраживание возможно только при соблюдении оптимальных значений таких факторов как температура, рН, нагрузка по органическому веществу, влажность, гидравлическое время удержания субстрата в реакторе, отсутствие или низкая концентрация токсичных веществ.

В результате использования технологии анаэробного сбраживания помимо санитарного обезвреживания отходов, сохраняются содержащиеся в них питательные вещества, определяющие удобрительную ценность навоза и помета, что позволяет снизить долю применения минеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур. Ежегодно образуемые отходы животноводства и птицеводства (280 млн.т/год) содержат 1,36 млн.т азота, что при внесении в землю, занятую пашней, в среднем соответствует дозе внесения азота равной 11,5 кг азота/га, тогда как рекомендуемая норма внесения навоза по азоту в среднем составляет 200кг/га (рис. 3).

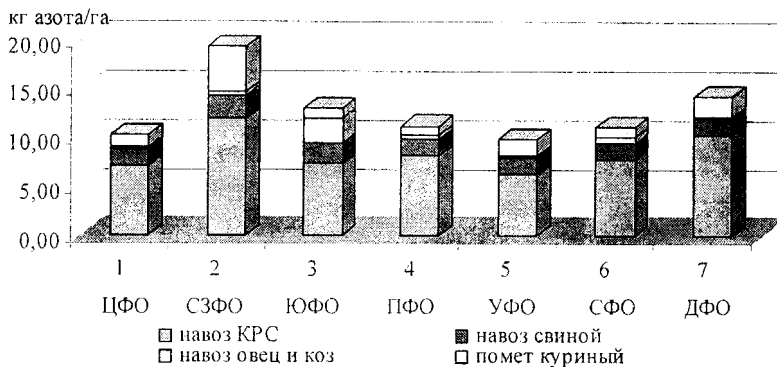


Рис. 3. Ежегодная удельная нагрузка отходов животноводства и птицеводства (по азоту) на единицу площади земель, занятых пашней, т азота/га/год

Также к немаловажному достоинству анаэробной биоконверсии органических веществ навоза и помета можно отнести образование биогаза, являющегося возобновляемым источником энергии. По сравнению с другими энергоносителями биогаз обладает следующими преимуществами:

- возобновляемость;
- снижение парникового эффекта;
- наличие местных источников сырья для получения топлива, что исключает транспортную составляющую;
- 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 [5].

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/м³ (20-25 МДж/м³ или 0,68-0,85 кг условного топлива) соответственно.

Обладая различным соотношением биополимеров органического вещества (углеводы:белки:липиды), что в первую очередь определяется различием в рационах питания, а также за счет различий в содержании веществ, не подверженных био-конверсии (лигнин и др.), навоз животных и птичий помет имеют различные значения характеристики удельного выхода биогаза (метана). (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение значений удельного выхода биогаза, отнесенного к массе сухого органического вещества, для различных отходов животноводства и птицеводства (при н.у.)

Вид субстрата	Удельный выход CH_4 , $\text{м}^3/\text{кг}$ ОВ субстрата	Удельный выход биогаза, $\text{м}^3/\text{кг}$ ОВ субстрата
Навоз свиной	0,28	0,46
Навоз дойных коров	0,16	0,26
Навоз КРС (кроме коровьего)	0,17	0,30
Помет домашней птицы	0,22	0,40

Если предположить, что все образуемые в Российской Федерации отходы животноводства и птицеводства (с учетом потерь в пастбищный период) будут подвергнуты анаэробному сбраживанию, то теоретический потенциал получения биогаза составит более 9 млрд. $\text{м}^3/\text{год}$ (рис. 4), что соответствует энергетическому потенциалу более 180000 ТДж/год или 6,4 млн. т.у.т/год.

А экологический эффект утилизации биогаза, состоящий в предотвращении поступления в атмосферу парникового метана (55-70% об. биогаза), мог бы составить 90 млн.т CO_2 -эквивалента/год (рис. 5).

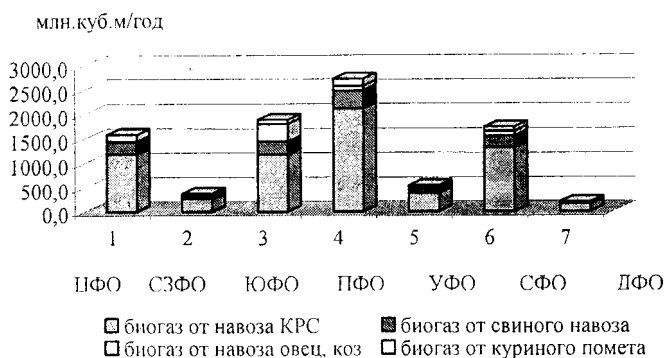


Рис. 4. Потенциал получения биогаза от отходов животноводства и птицеводства в различных Федеральных округах РФ, млн. куб.м/год

В настоящее время энергопотребление в агропромышленном комплексе составляет 70 млн. т.у.т/год [6]. 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 (рис. 6).

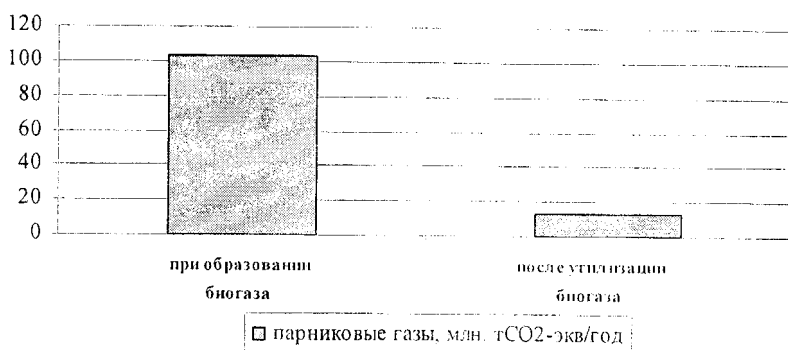


Рис. 5. Экологический эффект сокращения парниковых газов при утилизации биогаза от отходов животноводства и птицеводства, млн. тCO₂-экв/год

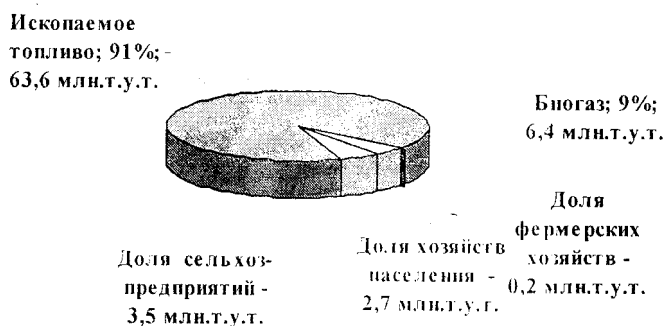


Рис. 6. Теоретически возможная доля биогаза в энергообеспечении сельского хозяйства

Утилизируемый биогаз может быть использован различным образом:

- 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 энергии);
- 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.

Как правило, биогаз применяется для непосредственного энергообеспечения технологического процесса анаэробного сбраживания. Необходимое для этой цели количество энергии зависит от принятого температурного режима сбраживания (психрофильный, мезофильный или термофильный), влажности сбраживаемого субстрата, от климатических условий расположения реактора,

величины тепловых потерь через поверхности реактора (а следовательно, от материалов, из которых изготовлен реактор, использования теплоизоляционных материалов, расположения реактора относительно поверхности земли — с заглублением в грунт или без). Энергетический баланс «Количество энергии от биогаза — Количество энергии для обеспечения технологического процесса» определяется отдельно для каждого конкретного случая, исходя из начальных условий, описанных выше.

Решение об использовании биогазовой технологии должно приниматься 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калюжный С.В., Пузанков А.Е., Варфоломеев С.Д. Биогаз: проблемы и решения // Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР. Биотехнология. М., 1988 — 180 с.
2. Заварзин Г.А. Трофические связи в метаногенном сообществе // Известия АН СССР. Сер. Биологическая — 1986 - №3 — с. 341-360.
3. Барнес Д. Фитиджеральд П.А. Анаэробные процессы очистки сточных вод // Экологическая биотехнология / Под ред. К.Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. — Л.: Химия, 1990, с. 37-89.
4. Калюжный С.В., Давлятина М.А., Варфоломеев С.Д. Математическое моделирование метаногенеза из глюкозы. Кинетические исследования // Прикладная биохимия и микробиология, 1994, т.30, вып. 1. с. 29-34.
5. 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) - http://www.europa.eu.int/comm/energy/library/599fi_en.pdf
6. Кашин В.И. Проблемы топливно- и энергообеспечения агропромышленного комплекса России // Крутлый стол №2 в рамках второго всероссийского Энергетического форума "ТЭК России в XXI веке" (март, 2004 г., Москва, Кремль) - http://www.duma.gov.ru/cnature/parl_conf/krug_stol/tek/statia_kashin.htm

USE OF ANAEROBIC DIGESTION TECHNOLOGY FOR MINIMIZATION OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY ANIMAL AND POULTRY WASTES

M.V. Korznikova^{1,2}, J.P. Kozlov^{1,2}

¹Ecological Faculty, Russian Peoples' Friendship University,
Podolskoye shosse, 8/5, 113093, Moscow, Russia;

²Department of biochemical problems of ecology,
Bach Institute of Biochemistry, Russian Academy of Sciences,
Leninskiy prospect, 33, 119071, Moscow, Russia

Minimization of environmental pollution by animal wastes is ecological aim. It can be provided by use of anaerobic digestion technology. This biogas technology is briefly described and advantages is described. The energy potential of biogas use in Russia and ecological effect of greenhouse gases reduction is estimated.