

УДК 620.92+628.52, 54, 58

---

## О РОЛИ БИОЭНЕРГЕТИКИ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

---

**П.Ю. Беляков,**

кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханических систем и электроснабжения Воронежского государственного технического университета; pavelbel-vrn@yandex.ru

В статье кратко обозначены проблемы взаимодействия традиционной энергетики с окружающей средой и рассмотрены некоторые варианты решения этих проблем путём применения технологий альтернативной энергетики и, в частности, современной биоэнергетики. Кратко изложена суть процесса метановой ферментации и приведена историческая справка относительно развития научных представлений в этом направлении. На ряде примеров показаны возможности применения указанной технологии на территории Воронежской области и обозначены основные причины, сдерживающие её внедрение.

**Ключевые слова:** энергетика, окружающая среда, энергосбережение, альтернативные энергетические технологии, метановая ферментация, исторический экскурс, современное состояние, возможности использования в регионе, проблемы внедрения

Актуальность энергосбережения обусловлена не только ограниченностью мировых ресурсов ископаемых топлив и постоянно увеличивающимися затратами на их добычу, но и негативным воздействием технологий современной традиционной энергетики на окружающую среду. В настоящее время энергетическая составляющая современных промышленных технологий по своей величине становится сравнимой с природными процессами. На рубеже столетий годовое потребление человечеством электрической энергии оценивалось в  $140 \cdot 10^{12}$  кВт·ч. По структуре первичных источников энергии мировая электро-энергетика на 70% является топливной. Производство каждого киловатт-часа электроэнергии на тепловых электростанциях сопровождается выбросом в атмосферу некоторого количества (табл. 1, рис. 1)\* двуокиси углерода, который, как и

метан, образующийся на мусорных полигонах, является парниковым газом, и способствует потеплению климата на планете.

Таблица 1

**Удельные выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании основных видов топлива на крупных топливосжигающих предприятиях**

Топливо	Удельные выбросы CO <sub>2</sub> ;кг/кВт·ч
Природный газ	0,198
Тяжёлое нефтяное топливо	0,288
Лёгкое нефтяное топливо	0,377
Каменный уголь	0,342
Бурый уголь	0,396

В свою очередь потепление приводит к интенсивному таянию полярных льдов, снижению уровня солёности воды в океанах, и далее к нарушению циркуляции глобального конвейера морских течений, последствия которого могут быть весьма ощутимыми для человечества.

Таким образом, экономия энергии, производимой традиционными способами, и выработка энергии с применением альтернативных технологий, базирующихся на возобновляемых источниках, на современном этапе развития человечества становятся всё более актуальными.

Одним из направлений энергетики возобновляемых источников является биоэнергетика, основанная на использовании энергии из биомассы, получаемой в результате процессов естественного фотосинтеза. По определению биомасса – это масса растений, микроорганизмов и животных на единице поверхности или объёма местообитания. Биомасса растений называется фитомассой, биомасса животных – зоомассой.

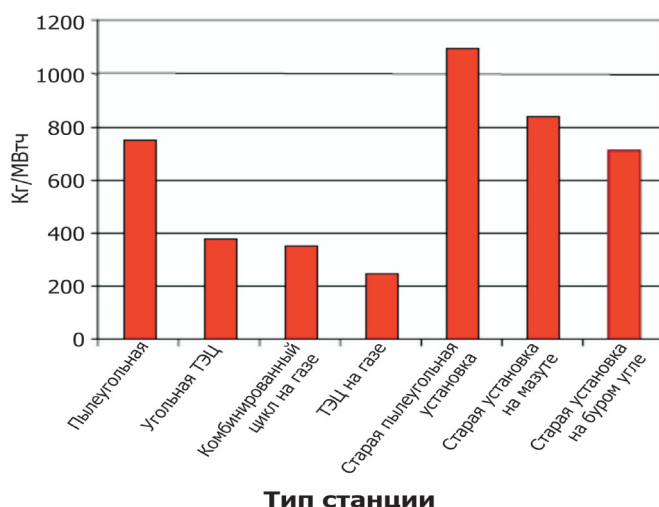


Рис. 1. Удельные выбросы CO<sub>2</sub> для топливосжигающих предприятий различных типов\*

\*материалы подготовлены РОО «Эколайн» и ОАО «Рязанская ГРЭС» в ходе проекта SEPS 345 «Сокращение воздействия и снижение выбросов парниковых газов при производстве энергии»

По оценкам специалистов количество энергии солнечного излучения, ежегодно аккумулируемое растениями и водорослями, составляет около  $10^{15}$  кВт·ч, однако их использование в естественном виде для производства энергии либо практически невозможно, либо нерационально. Современные распространённые технологии преобразования биомассы в удобные для повседневного использования виды топлива представлены в виде схемы на рис. 3.

Из приведённой схемы видно, что преобразование осуществляется либо путём термической обработки первичной биомассы (пиролитические технологии), либо с использованием биохимических реакций, среди которых наибольшей популярностью пользуется метановая ферментация, позволяющая получать удобное топливо в виде биогаза и минеральное удобрение.

Строго говоря, в качестве исходного материала для метановой ферментации используется в основном вторичная биомасса в виде отходов сельскохозяйственного производства (ботва, солома), пищевой промышленности (отходы скотобоен, меласса), бытовые и пищевые отходы, экскременты животных и населения. Это позволяет не только извлекать из них полезную энергетическую составляющую, но и снижать загрязнение окружающей среды. Биогаз – это смесь 60-70% метана и 16-34 % углекислого газа. Присутствуют в малых количествах другие компоненты:

- азот 0 - 3%;
- водород 0 – 3%;
- кислород 0 – 0,003%;
- окисел углерода (CO) 2 – 4%.

Сравнительная теплотворная способность биогаза может быть наглядно проиллюстрирована рисунком 2.

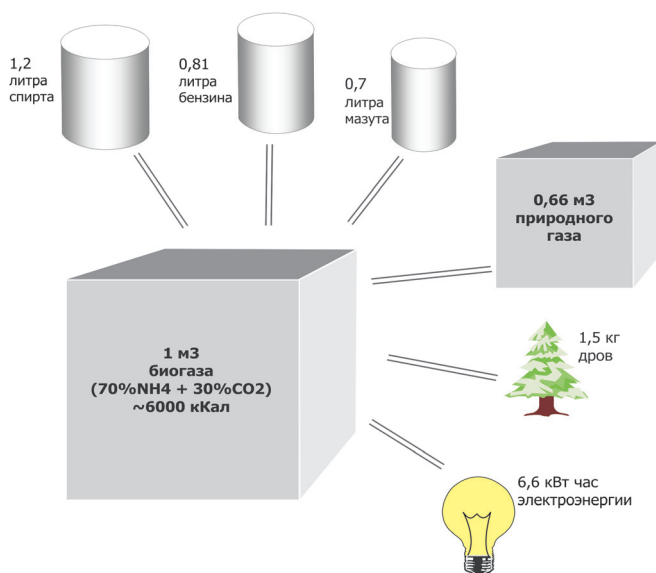


Рис. 2. Сравнительная теплотворная способность биогаза

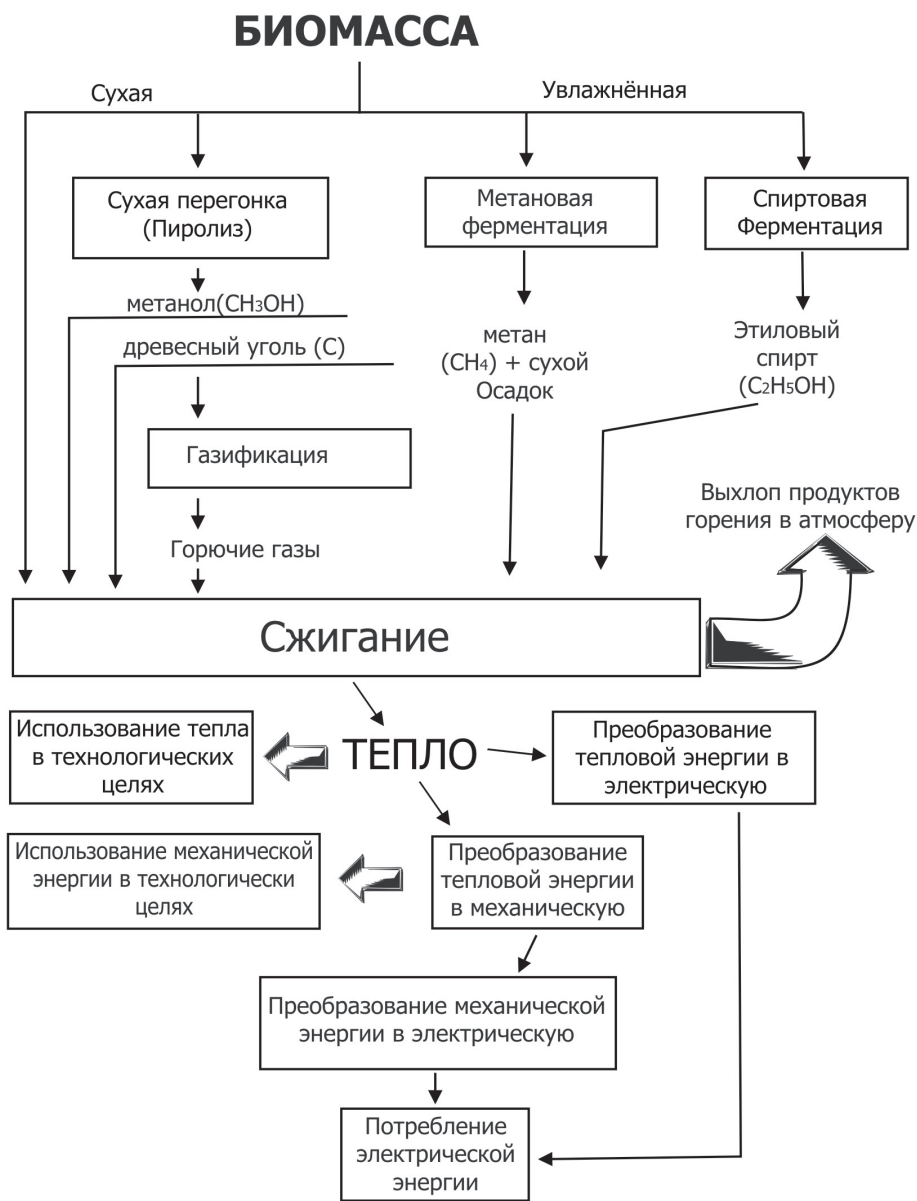


Рис. 3. Схема преобразования энергии биомассы

Биогаз известен человечеству давно. До наших дней дошли отрывочные сведения, о том, что в Персии в XVI, а в Ассирии в X веке до нашей эры его уже использовали для подогрева воды. Документально подтверждено, что в 1895 в г. Экстер (Англия) уличные фонари питались газом, который получали в результате брожения сточных вод.

В природе биогаз спонтанно формируется на дне водоёмов в результате анаэробного разложения первичной и вторичной биомассы: останков рыб и животных, погибших водорослей и фекалий. Помимо этого образование метана на «диких» свалках является проблемой, поскольку регулярно

вызывает возгорания.

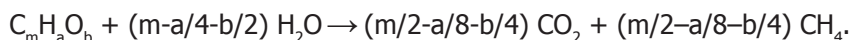
Основные этапы развития науки о биогазе и современное состояние вопроса:

- в 1630 г. Ван Хелмон упоминает среди прочих 15 газов горючий газ, выделяющийся при гнилом брожении;
- в 1664 году Ширли официально открывает метан;
- в 1764 году Франклин сообщает о том, как он поджигал болотный газ на грязевом озере в Нью Джерси;
- в 1776 году А. Вольта был первым учёным, который научно описал образование газа в илистых отложениях озёр;
- в 1804 году Дальтон вывел формулу метана;
- в 1859 году первые биогазовые реакторы (дижесторы (фр.)) были построены в колонии прокажённых в Бомбее;
- в 1883-1884 Гайон, ученик великого Пастера, успешно экспериментировал с получением биогаза из различных отходов. Количество полученного газа было столь велико, что Луи Пастер сделал вывод о возможности его производства для освещения и отопления, что газета Фигаро приняла как шутку. Однако уже в пятидесятые годы XX века во Франции функционировало более 800 биогазовых установок;

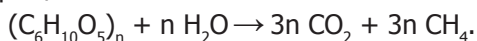
- в наши дни в Германии более 50 крупных установок задействовано на переработке сточных вод; в Китае численность реакторов по различным оценкам колеблется между 4 и 6 миллионами, а в Индии – более миллиона.

Биогаз образуется в результате комплекса биохимических процессов происходящих в определённом диапазоне температур и отсутствии кислорода при участии нескольких групп бактерий.

В общем виде основная реакция может быть описана следующим выражением:



В частном случае полисахаридов (например, целлюлоза) реакция выглядит значительно проще:



Из приведённых выражений отчётливо видно, что исходное сырьё должно в достаточных количествах содержать органические вещества: белки, жиры и углеводы, а реакция должна происходить в водной среде. На практике в качестве исходного субстрата чаще всего применяются отходы переработки сельхозпродукции, пищевые отходы, сточные воды и фекалии животных.

Таким образом, рассматриваемый процесс позволяет выделить из отходов энергетическую составляющую в виде метана, использовать её для бытовых и технических нужд, а оставшиеся продукты реакции, в основном состоящие из неорганических соединений, использовать в качестве удобрений для сельского хозяйства.

В процессе решаются две задачи: производство дешевого возобновляемого энергоносителя и снижение уровня загрязнения окружающей среды.

Однако следует иметь в виду, что у исходных материалов должен быть разумно ограниченный срок биологической деструкции, поскольку продолжительность реакции определяет геометрические размеры установок и, в конечном итоге, экономическую эффективность процесса. В зависимости от температуры в реакторе этот срок колеблется от 20 до 60 дней.

Естественно, производительность сырья по биогазу зависит от содержания в нём указанных выше компонентов.

В последние годы в США, Европе, странах Азии и Африки данное направление энергетики развивается достаточно быстрыми темпами.

Для получения биогаза из различного исходного сырья строятся биогазовые установки (реакторы, дигесторы или метантенки) различных конструкций и размеров. На рис. 4 показаны: общая технологическая схема и примеры действующих установок.

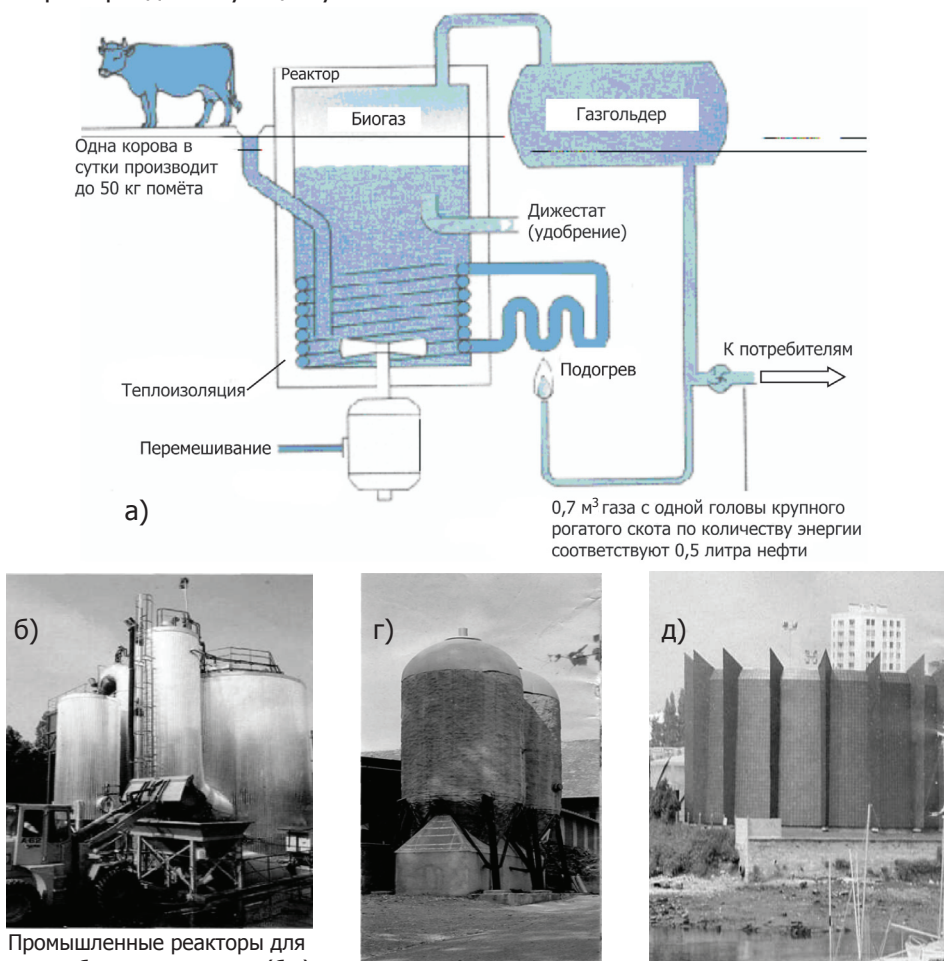


Рис. 4. Технологическая схема (а) и внешний вид современных установок для получения биогаза

На территории Воронежской области и в городе Воронеже в настоящее время успешно функционирует некоторое число птицеводческих и животноводческих предприятий, побочным результатом деятельности которых является значительное количество птичьего помёта и экскрементов крупного рогатого скота и свиней.

Например, одна из перепелиных ферм, находящаяся в черте города производит в сутки около трёх тонн перепелиного помёта, который является химически и биологически агрессивным веществом, и, не смотря на большую энергетическую ценность, не может быть использован для непосредственного внесения в почву в качестве удобрения.

Работавшее в прошлом году на неполную мощность птицеводческое предприятие «Лиски-бройлер» производило в сутки до 150 тонн куриного помёта, имея аналогичные проблемы с его утилизацией. В то же время эти предприятия регулярно нуждаются в тепловой энергии, а сельское хозяйство области – в дешёвых эффективных удобрениях.

Следующий пример относится к транспортным предприятиям. В связи с внедрением на железнодорожном транспорте сбора фекалий в резервуары, установленные на вагонах, и необходимостью их регулярной эвакуации преимущественно в городские канализации соответствующих железнодорожных узлов, может представлять определённый интерес организация предварительной обработки субстрата в биогазовых реакторах, установленных непосредственно на станциях.

Это позволит:

- получать газообразное топливо для стационарных нужд;
- сократить количество специализированного автотранспорта, задействованного на эвакуации;
- уменьшить загрязнение окружающей среды (в частности, образование «дикого» метана, который относится к газам с парниковым эффектом), что полностью соответствует духу Киотской конференции 1997 года, протокол которой подписан Россией в 2005 году.

Фекальное сырьё, собираемое на воронежском железнодорожном узле и с немалыми затратами эвакуируемое в городскую канализационную систему, в принципе может быть весьма успешно использовано для получения биогаза, так как в мировой и российской практике накоплен значительный опыт очистки сточных вод путём метановой ферментации.

**Пример.** По имеющимся данным литературных источников в суточной дозе экскрементов среднего человека (весом 70 кг) содержится около 0,11 кг органических биodeградирующих веществ, один килограмм которых способен произвести 0,38 м<sup>3</sup> биогаза. Грубый подсчёт показывает, что фекалии, эвакуированные с состава из 18 вагонов, совершающего рейс Воронеж-Москва-Воронеж (в среднем 45 человек в вагоне) может дать порядка 68 м<sup>3</sup> биогаза, что эквивалентно 462 кВт·час электроэнергии или 0,408 Гкал тепловой.

Однако в связи с имеющейся спецификой: вероятное наличие в субстрате значительного количества синтетических моющих и дезинфицирующих средств, неблагоприятно влияющих на жизнедеятельность аксидогенных и метаногенных бактерий, отсутствие информации об удельном содержании в субстрате органических соединений, требуется проведение предварительных исследований, которые позволят получить ответы на следующие вопросы:

- объём сырья ежедневно имеющегося в наличии;
- его пригодность к переработке в биогазовых реакторах;
- осреднённый химический состав и характеристики сырья (производительность по биогазу, время полного и 80% разложения, оптимальные технологические режимы и.т.д.)

Данная информация необходима для проектирования реакторов, технологических режимов и оценки экономической эффективности проекта.

Аналогичные исследования необходимо произвести и для прочих исходных субстратов, поскольку использование в птицеводстве и животноводстве антибиотиков и дезинфицирующих средств со значительным сроком естественного распада может привести к невозможности их переработки методом метановой ферментации.

К сожалению, необходимость финансирования вышеперечисленных исследований, результат которых может быть отрицательным, является мощным сдерживающим фактором для потенциальных инвесторов.

Вторым сдерживающим фактором являются климатические условия Воронежской области. Для эффективной переработки субстрата и получения качественного удобрения технологический режим анаэробного процесса метанового брожения подразумевает поддержание в объёме реактора определённой достаточно высокой температуры. В зимнее время года в случае открытого (вне отапливаемого помещения) исполнения реактора значительная часть производимого биогаза может быть использована для решения задачи подогрева, то есть в зимнее время энергетическая эффективность данной технологии может оказаться невысокой, и эта проблема также требует дополнительных исследований.

В ограниченном объёме статьи нет возможности уделить внимание прочим перспективным методам получения топлива и электроэнергии из биомассы, которые пока не получили достаточного развития.

В качестве заключения хотелось бы отметить, что в глобальном масштабе по объёму производимой энергии переработка биомассы в настоящее время опережает такие динамично развивающиеся отрасли энергетики возобновляемых источников как гелио- и ветроэнергетика, что, несомненно, доказывает её высокую эффективность и благотворное влияние на окружающую среду.

#### **Список источников**

1. Bernard Lagrange: BIOMETHANE 2: Principes Techniques Utilisations. EDISUD/énergies alternatives 1980.
2. Billard V. et Varagnat F., Dossiers du Biogaz : dossierA. GERES 7375015



[Text] / V. Billard et F. Varagnat/Paris .France.

3. Hamad M.A., Abdel Dayem A.M., and El-Halwagi M.M. BIOGAS TECHNOLOGY, TRANSFER AND DIFFUSION. Elsevier Applied sciences Publishers London and New York 1986 [Text] / M.A. Hamad, A.M. Abdel Dayem, M.M/ El-Halwagi/

4. Hao T.Y. , Lo I., Mezgersa B. Techniques de construction et comparaison de quatre types de biodigesteurs. Décembre 1989. [Text] / T.Y. Hao, I. Lo, B. Mezgersa./

5. Dr M.K Bah et Dr M. Keita Bioconversion U.C 2001

6. Dr. Pavel Béliakov, Dr. Mamby Keita, A. Sow Introduction à bioénergétique. Pour les étudiants de 4ème année de la spécialité Energétique et Environnement: CONAKRY Editions Universitaires, 2003

7. Observ'ER. La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde. Collection chiffres et statistiques. Neuvième inventaire - Edition 2007.

8. Bernard Multon, Equipe SETE. Énergie renouvelables. Master Recherche STS IST Paris – ENS Cachan 2007.

9. Большой энциклопедический словарь. URL: [http://mirslovari.com/content\\_bes/Biomassa-7058.html/](http://mirslovari.com/content_bes/Biomassa-7058.html/)

---

## **ABOUT THE ROLE OF BIOENERGETICS IN SAVING OF ENERGY**

---

**P.Yu. Belyakov,**

Ph.D. of Technical Science, Associate Professor of the Chair of electric power industry of MICT; Associate Professor of the Chair Electromechanical Systems and Saving of Energy of Voronezh State Technical University; pavelbel-vrn@yandex.ru

The article briefly describes problems of interaction of traditional power economy with environment and some variants of solution of these problems by application of technologies of alternative power and in particular modern bioenergetics. The essence of process of methanoic fermentation is briefly expounded. The historical information about the developing of scientific ideas in this branch is shown. Abilities of use of above-noted technology on the territory of Voronezh region and basic reasons, restraining its implantation, are denoted.

**Keywords and phrases:** power economy, environment, saving of energy, alternative energy technologies, methanoic fermentation, historical excursus, modern status, possibility of use in region, problems of implantation.