

**ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ
(05.14.08)
БИОТЕХНОЛОГИЯ
(В ТОМ ЧИСЛЕ БИОНАНОТЕХНОЛОГИИ)
(03.01.06)**

УДК 674.8.05

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-117-121

Развитие биоэнергетики, как одного из направлений возобновляемых источников энергии в России

Е.С. Панцхава

Биоэнергетика — одно из бурно развивающихся направлений в области возобновляемых источников энергии. Россия (ранее СССР) имела и имеет большой практический опыт по развитию и созданию промышленных технологий и производству всего спектра биотоплив, тепловой и электрической энергии из биомассы, в первую очередь, из органических отходов агропромышленного комплекса, лесопроизводства и деревообработки, отходов жилищно-коммунального хозяйства: твердого биотоплива — pellets, гранулы, щепа, древесный уголь, торфяные брикеты; жидкого биотоплива — биоэтанол, биобутанол, биоизобутанол, биодизель, биобензин, биокеросин, растительные масла, деготь, диметилловый эфир; газообразного топлива — биогаз (биометан), биоводород, синтез-газ (сингаз). Потенциальные возможности России в производстве биотоплив оцениваются в объеме более 800 млн т у. т. СССР был первой страной в мире, которая в конце 1960-х гг. прошлого столетия освоила широкомасштабное промышленное производство биотоплив (биобутанола, биоэтанола, биоацетона, биоводорода и биогаза) из биомассы (мелассы — отхода сахаропроизводства из сахарной свеклы).

Ключевые слова: биоэнергетика, биотопливо, термохимия, биотехнологии, биоэтанол, биодизель, биогаз, биоводород, pellets.

Для цитирования: Панцхава Е.С. Развитие биоэнергетики, как одного из направлений возобновляемых источников энергии в России // Вестник МЭИ. 2022. № 4. С. 117—121. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-117-121.

Development of Bioenergy as One of RES Development Areas in Russia

E.S. Pantskhava

Bioenergy is among the rapidly developing areas in the field of renewable energy sources. Russia (formerly the Soviet Union) has always had extensive practical experience in the development and setting up of industrial technologies and production of the entire range of biofuels, heat and electricity from biomass, primarily from organic waste generated by agro-industrial complexes, forestry and woodworking, and waste from housing and communal services: solid biofuels, including pellets, wood chips, charcoal, and peat briquettes; liquid biofuels, including bioethanol, biobutanol, bioisobutanol, biodiesel, bio-gasoline, bio-kerosene, vegetable oils, tar, and dimethyl ether; and gaseous fuels, including biogas (biomethane), biohydrogen, and synthesis gas (syngas). The potential capacities of Russia in the production of biofuels are estimated at more than 800 million tce. The Soviet Union was the world's first country, which in the late 1960s mastered large-scale industrial production of biofuels (biobutanol, bioethanol, bioacetone, biohydrogen, and biogas) from biomass (molasses, which is the waste of sugar production from sugar beet).

Key words: bioenergy, biofuels, thermochemistry, biotechnologies, bioethanol, biodiesel, biogas, biohydrogen, pellets.

For citation: Pantskhava E.S. Development of Bioenergy as One of RES Development Areas in Russia. Bulletin of MPEI. 2022;4: 117—121. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-117-121.

*«Человек всегда искал, ищет
и будет искать альтернативу
ископаемым видам топлива»*

Лауреат Нобелевской премии,
академик АН СССР и РАН
Ж.И. Алферов

Промышленная (техническая) биоэнергетика — фундаментальное и прикладное направление, возникшее на границе биотехнологии, химической технологии и энергетики, в рамках которой идут изучение и разработка коммерческих путей биологической конверсии солнечной энергии в топливо и биомассу с последующей биологической и термохимической трансформацией последней в топливо и энергию [1].

Промышленные производства ряда видов биотоплива (винокурение — получение этанола из зерна, смолокурение — древесный деготь, древесный уголь, растительные масла — подсолнечное масло) возникли и развивались самостоятельно в России очень давно. Винокурение — с XII в., смолокурение — с XV в., добыча древесного угля — с XVII – XVIII вв. (огромную роль в развитии и становлении данного производства для металлургии сыграла семья купцов и промышленников Демидовых), получение подсолнечного масла разработано в 1829 г. крепостным крестьянином Алексеевской слободы Воронежской губернии Д. Бокаревым.

Объединение всех старых и новых технологий в общую программу биоэнергетики по промышленному производству биотоплива было продиктовано идеями выдающегося русского физика, физико-химика и мыслителя, лауреата Нобелевской премии, академика АН СССР, создателя Научного Совета при Президиуме АН СССР «Изыскание новых путей использования солнечной энергии» Н.Н. Семенова, изложенными в 1973 г. в его монографии «Наука и общество».

На реальность и необходимость развития данного промышленного направления энергетики указывали успехи отечественных ученых и инженеров (академиков АН СССР В.Н. Шапошникова, Н.Д. Иерусалимского, А.И. Опарина, Е.Н. Кондратьевой, членов-корреспондентов АН СССР С.И. Кузнецова, В.Н. Букина, инженера-технолога И.С. Логоткина, докторов биологических наук В.Я. Быховского и Е.С. Панцхавы), работавших в период с 1935 по 1967 — 1969 гг. широкомасштабное промышленное производство жидких (биоэтанола, биобутанола, биоацетона) и газообразных (биоводорода и биогаза) топлив из отходов сахаропроизводства — мелассы.

Возникновение одного из направлений солнечной энергетики в России приурочено к 1956 г., когда известный русский микробиолог, член-корр. АН СССР С.И. Кузнецов на нефтепромыслах Поволжья провел с положительным успехом промышленный эксперимент по применению метанового брожения для повышения дебита нефти в старых истощенных нефтяных месторождениях [1].

По объемам ежегодного накопления количества солнечной энергии в биомассе этому процессу нет равных на планете.

Все известные на сегодняшний день направления (производные) солнечной энергетики нацелены на решение четырех глобальных проблем, возникших во второй половине XX в. благодаря деятельности человека:

- активного образования парниковых газов (диоксида углерода и метана), повышающих температуру атмосферы Земли вследствие сжигания ископаемых топлив;
- теплового загрязнения атмосферы Земли за счет сжигания ископаемых топлив [2];
- прогнозируемого истощения запасов ископаемых топлив, прежде всего, нефти и природного газа;
- постоянного ежегодного значительного увеличения образования органических отходов.

Термин «биомасса» охватывает все виды веществ растительного и животного происхождения, продукты жизнедеятельности человека и животных, органические отходы перерабатывающей промышленности и сельского хозяйства.

Почти треть населения Земли (около 2 млрд чел.) использует биомассу в виде древесины в качестве основного источника топлива.

Ежегодный прирост биомассы на земле составляет 220 млрд т (по с. в.), что позволяет запастись в виде энергии химических связей до $4 \cdot 10^{21}$ Дж энергии. Мировое годовое коммерческое использование всей энергии составляет $5,56 \cdot 10^{20}$ Дж. Это в 7,2 раза меньше запасаемой энергии. Биомасса Земли составляет 2420 млрд т [1].

По сырьевому происхождению биотопливо разделяют на поколения:

- первое (продукты сельскохозяйственного производства: зерно, растительные масла, животный жир, лесная стволовая древесина);
- второе (органические отходы лесопромышленного комплекса и агропромышленного комплекса);
- третье (морские и пресноводные водоросли) [3].

По механохимическим характеристикам биотопливо бывает:

- твердым — пеллеты и гранулы из древесины, торф, солома, стебли, древесная щепа, дрова, древесный уголь, торфяные брикеты, переработка мусора (ТБО);
 - жидким — биоэтанол, биометанол, биобутанол, биоизобутанол, диметиловый эфир (ДМЭ), биодизель;
 - газообразным — биогаз, биоводород, синтез-газ [3].
- Биоэнергетические технологии переработки биомассы в биотопливо:
- термохимическая конверсия: прямое сжигание, газификация, сжижение, быстрый пиролиз, синтез;
 - биотехнологии (биогазовые технологии): производство этанола, бутанола, изо-бутанола, биоводорода,

получение биодизельных топлив, жирных кислот, растительных углеводов, тепловой энергии.

Вклад биомассы в мировое производство энергии к 2040 г. прогнозируется на уровне 13,5 млрд т н. э. (100%), вклад всех ВИЭ к этому периоду — 47,7% или 6,44 млрд т н. э., тогда как вклад биомассы составит 23,8% или 3,21 млрд т н. э. [3].

Активное развитие ВИЭ в последние годы демонстрируют США, являющиеся на сегодняшний день самой мощной по экономике и технологиям страной, несмотря на занимаемое первое место в мире по добыче нефти (582,2 млн т) и природного газа (900 млрд м³ в 2020 г.) [4].

Активная роль государства в развитии ВИЭ в США должна стать примером для руководства России, поскольку страна считается одним из мировых лидеров в сфере биоэнергетики.

В 2016 г. США заняло второе в мире место по общей установленной мощности биоэнергетических станций (12,458 ГВт) после Бразилии (14,179 ГВт) [5]. По объемам производства биоэтанола страна — бесспорный мировой лидер (в 2021 г. произведено 64,09 млрд л) [6]. В 2020 г. в США выпущено 2,4 млн т. биодизельного топлива [7]. При этом государство играло крайне активную роль в развитии биоэнергетики.

Особенно сильная федеральная поддержка производства этанола и биодизельного топлива началась в 2005 г. За последние 10 — 15 лет производство биотоплива многократно увеличилось. Доля этанола в бензине возросла до 10%, что можно считать серьезным достижением [8].

В США государство серьезное внимание уделяет и развитию биогазовых технологий, и производству биогаза, которое поддерживает законодательно на федеральном уровне и уровне штатов [9].

Биогаз дает 8% электрической энергии, произведенной из возобновляемого сырья в США (данные 2006 г.), лендфилл-газ в 2005 г. составлял 24% от всего количества метана (его выпускали более 350 заводов).

Потенциальные возможности развития биоэнергетики в России и ее современное состояние

Ежегодное количество органических отходов по разным отраслям народного хозяйства России составляет более 270 млн т. (по с. в.): сельскохозяйственное производство — 200 млн т, из них 66,5 млн т приходится на животноводство и птицеводство, 126 млн т — на растениеводство. Лесо- и деревопереработка дают 70 млн т, твердые бытовые отходы городов — 16 млн т, осадки коммунальных стоков — 4,9 млн т (все приведенные значения даны на абсолютно сухое вещество по итогам исследований по заказу Института энергетической стратегии РФ, 2006 г.)

Россия является крупным экспортером древесной щепы, пеллет и гранул для Европы и других стран. В 2021 г. на экспорт поставлено 2,23 млн пеллет. Основные импортеры: Бельгия, Германия, Япония.

В нашей стране сосредоточена четвертая часть мировых запасов леса — 82 млрд м³ или 41 млрд т древе-

сины. В мире таких ресурсов нет. Лес в России занимает 2/3 территории — 1,2 млрд га.

В целях энергетики для переработки без нанесения ущерба для лесных плантаций можно использовать, как минимум, до 0,16% ежегодно (130 млн м³ = 65 млн т). Энергоемкость такого объема древесины составляет 1,1 ЕДж (10¹⁸) [3].

В 2021 г. было произведено около 2 млн т древесных пеллет. Для их выпуска также используют солому злаковых и крупяных культур — 80...100 млн т.

Газогенерация и пиролиз

Имевшийся в стране опыт строительства газогенераторных установок в 1930 — 1940-х гг. позволил спроектировать газогенераторы нового поколения, реализующие обращенный процесс слоевой газификации при атмосферно-воздушном дутье, что повысило их КПД.

Ведущая организация в 1980 — 1990-е гг. по данному направлению — АО «Энерготехнология» (г. Санкт-Петербург), научный руководитель проблемы профессор, д.т.н. Л.В.Зысин.

Газогенераторы, объединенные в один энергетический комплекс с водяными котлами или дизельными электрогенераторами, используются для получения тепловой и электрической энергии.

Получение этанола

Экспорт транспортного этанола в перспективе может стать серьезным источником валюты и экологически чистым энергетическим товаром России на международном топливном рынке.

В 2020 г. в России из пищевого сырья произведено 998 млн л этанола.

В 2012 г. в России было выпущено 85 млн л гидролизного спирта.

В СССР работало 40 гидролизных заводов, а к 2020 г. их осталось всего 8. Данные по объемам произведенного гидролизного спирта отсутствуют.

Получение биоводорода

Один из методов получения биоводорода из биомассы — бутиловое или ацетонобутиловое брожение сахарозы (мелассы) или крахмала (зерна). На 1 т мелассы образуется 80 м³ водорода. На всю произведенную мелассу в 2015 г. пришлось 104,0 млн м³ водорода. С 1 гектара плантаций сахарной свеклы (мелассы) можно получить до 140 м³ газа [1].

Дополнительно к водороду с 1 т мелассы получают до 114 кг бутанола или 36 кг ацетона, со всего годового объема — 177840 т бутанола, 56160 т ацетона.

Биодизельное топливо

У России есть все возможности для выработки растительных масел с целью производства и экспорта биодизельного топлива. Основными производителями растительных масел являются подсолнечник, лен, горчица, небольшой объем занимают кукуруза, соя и рапс.

Ведущее место у подсолнечника. В 2021 г. Россия произвела 4,8 млн т подсолнечного масла и 582,7 тыс т рапсового масла [10, 11].

Нужна ли промышленная биоэнергетика России, занимающей в 2021 г. второе место в мире по добыче ископаемых углеводородов после США?

В ближайшие десятилетия могут возникнуть две важнейших причины, способные существенно поменять сырьевую структуру для производства моторных топлив, электроэнергии и тепловой энергии в России: дефицит добычи нефти и повышение ее стоимости.

Поскольку основной потребитель российского рынка углеводородов — моторные топлива, то замену нефтепродуктам для их изготовления следует искать среди возобновляемых источников энергии. Первым претендентом на это место будет биоэнергетика: биоэтанол, биобутанол, биоизобутанол, биометан-биогаз, биоводород, синтез-газ, биобензин, биокеросин и биодизель.

Потенциальный объем производства биотоплива из биомассы в России в ближайшие десятилетия составит более 800 млн т у. т./г и не будет уступать объемам ежегодной добычи нефти, угля или природного газа, (без учета биотехнологического восстановления дебита нефти на старых промыслах). Годовой энергобаланс России в 2020 г. составил 947 млн т у. т.). [3, 12].

Перечислим «шесть китов» современной сырьевой базы для возможного производства биотоплив в России:

- органические отходы агропромышленного комплекса. (80 млн т у. т./г, к 2020 г. — 154 млн т у. т.);
- отходы лесопромышленного комплекса и деревообработки (всего — 20 млрд т у. т., по интенсивной технологии ежегодно можно производить до 820 млн т у. т.);
- торф (всего — 60 млрд т у. т., промышленный фонд — 10,7 млрд т у. т.);
- энергетические плантации (минимум — 270,9 млн т у. т./г; 19,5 млн га — 20%, биогаз — 228,5 млн т у. т., этанол — 41,9 млн т у. т.);
- биогазификация остаточной нефти (21,5 млрд т. извлекаемой нефти с 1965 г.);
- добыча метангидратов (общие запасы — 10 трлн т или 12,5 млрд м³ (10¹⁵)).

Россия в ближайшем будущем может держать 5 — 10% мирового рынка биотоплива (по мнению западных экспертов). Ее потенциальные возможности в плане широкомасштабного производства биотоплива огромны, но в настоящее время и отставание от ведущих стран достаточно велико.

Если оценивать потенциальные возможности современной России по вкладу растительной биомассы в энергетику, то эта цифра составит 255 млн т у. т., или 1 млрд м³ общей древесины в год. Отходы — 222 млн т у. т., т. е. ежегодно нужно будет вырубать 1/80 лесного массива России (на восстановление уйдет 80 лет).

Совместно с потенциальными возможностями АПК (только отходы) общий объем биотоплива составит 376 млн т у. т. Энергосодержание отходов лесосеки и деревообработки обойдется в 670 млн т у. т. Итого: 824 млн т у. т. (с АПК).

Возможные объемы производства биотоплива из биомассы в России в ближайшие десятилетия составят около 1500 млн т у. т./г и не будут уступать объемам ежегодной добычи нефти, угля или природного газа (годовой энергобаланс России за 2020 г. — 947 млн т у. т.) [12].

Россия обладает большим опытом промышленного производства биотоплива из биомассы. СССР был первой страной в мире, которая в конце 1960-х гг. освоила широкомасштабное промышленное производство биобутанола, биоэтанола, биоацетона, биоводорода и биогаза из биомассы (мелассы) [1].

В настоящее время ежегодный объем производимых органических отходов агропромышленного комплекса (АПК) и городов по всем регионам России в сумме составляет почти 700 млн т (260 млн т по с. в.):

- 350 млн т (53 млн т с. в.) — животноводство;
- 23 млн т (5,75 млн с. в.) — птицеводство;
- 220 млн т (150 млн т с. в.) — растениеводство;
- 30 млн т (14 млн т с. в.) — отходы перерабатывающей промышленности;
- 32,5 млн т — деревообработка;
- 56 млн т (28 млн т с. в.) — твердые бытовые отходы.

Из этого количества можно ежегодно получать до 73 млрд м³ биогаза (57 млн т у. т.), до 90 млн т пеллет или 75 млн т синтез-газа, конвертируемого в 160 млрд м³ водорода, а также до 330 тыс. т этанола или до 88 млн м³ водорода, 165 тыс. т растворителей (бутанола и ацетона) [1].

Сельское население России, согласно последней переписи, составляет 39 миллионов человек. Для их обеспечения газообразным топливом (для приготовления пищи, горячей воды, отопления в течение 8 месяцев) потребуется до 14,2 млрд м³ в год. Современное сельское хозяйство России потребляет в год 2 млн т бензина и 4,8 млн т дизельного топлива. Один литр бензина или дизельного топлива может быть заменен 0,73 кг природного газа в сжиженном состоянии или 1,31 м³ биогаза при калорийности последнего 6000 ккал/м³.

Транспорту и сельскохозяйственным машинам для замещения традиционного топлива потребуется до 17 млрд м³ биогаза, для всего АПК — 31,2 млрд м³.

Перед страной поставлена серьезная задача по увеличению использования ВИЭ в общем объеме производства энергии с 1 до 4,5%.

Доля ВИЭ в единой энергетической системе России не превышает 1%, а установленная мощность солнечных и ветряных электростанций составляет 1354,88 и 172,43 МВт (0,55 и 0,07% от общей мощности). Лучше ситуация с гидроэлектростанциями: их доля составляет 20,24%. [13].

Выводы

Россия обладает необходимыми технологиями производства всего спектра биотоплива и должна стать активным участником мирового рынка биоэнергетики. Для этого необходимо создание самостоятельной государственной программы, аналогичной программам Государственного Комитета по Науке и Технике СССР.

Литература

References

1. **Панцхава Е.С.** Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз. Теория и практика. М.: Русайнс, 2014.
2. **Семенов Н.Н.** Наука и общество. М. Наука, 1973.
3. **Панцхава Е.С.** Электростанции на биотопливе (биомассе). М.: Русайнс, 2016.
4. **BP** Statistical Review of World Energy 2018 [Электрон. ресурс] www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf (дата обращения 28.11.2018).
5. **Панцхава Е.С.** Будущее мировой энергетики — водород биофотоллиза воды // Энергия: экономика, техника, экология. 2011. № 10. С. 11—17.
6. **Свежий** взгляд на энергетику [Электрон. ресурс] www.enkor.ua (дата обращения 20.01.2022).
7. **США** увеличили выработку биодизеля на 5% в 2020 г. [Электрон. ресурс] www.news.ati.su (дата обращения 05.03.2021).
8. **Биоэнергетика** США: роль государства [Электрон. ресурс] www.rusus.jes.su (дата обращения 20.01.2022).
9. **Биогаз** в США [Электрон. ресурс] www.biogas-usa.com/ (дата обращения 20.01.2022).
10. **С 2016** по 2020 гг производство этилового спирта в России увеличилось на 6,9%: с 934 до 998 млн л. [Электрон. ресурс] www.marketing.rbc.ru (Дата обращения 20.01.2022).
11. **На 26 ноября** 2021 года в России собрано 15,4 млн тонн подсолнечника [Электрон. ресурс] www.agro-bursa.ru (дата обращения 29.11.2021).
12. **Statistical Rev.of World Energy 2021** [Электрон. ресурс] www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-all-data.xlsx (дата обращения 29.11.2021).
13. **Цель** России — увеличить к 2050 году долю безуглеродных источников [Электрон. ресурс] www.ok.ru/mecmgn/topic/154099411184583 (дата обращения 29.11.2021).

Сведения об авторе:

Панцхава Евгений Семенович — доктор биологических наук, e-mail: panchava38@mail.ru

Information about author:

Pantskhava Evgeniy S. — Dr.Sci. (Biolog.), e-mail: panchava38@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 28.01.2022

The article received to the editor: 28.01.2022