

БИОБЕНЗИН И БИОДИЗЕЛЬ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ*

Мировая экономика продолжает в значительной степени зависеть от углеводородного топлива (56% потребляемой энергии приходится на нефть и газ¹). В то же время ясно обозначился глобальный тренд исчерпания легкодоступных запасов углеводородов, повышения стоимости освоения новых месторождений и, что еще более опасно, удельного увеличения энергозатрат на добычу².

Массовым явлением стало значительное превышение реальных затрат нефтяных компаний на освоение новых месторождений над расчетными³. Производство биотоплива из сельскохозяйственных культур не оправдало возлагавшихся на него надежд в связи с дилеммой food vs. fuel (выращивание энергетических культур ведет к сокращению посевов продовольственных и к росту цен на продукты питания). В развитых странах возникло протестное движение, направленное на запрет использования сельхозугодий для производства топлива в условиях истощения почв (ежегодно 12 млн га сельхозугодий приходят в негодность, что эквивалентно потере потенциального урожая в объеме 20 млн т зерна⁴) и нерешенной глобальной продовольственной проблемы (в мире голодают или недоедают почти 800 млн человек⁵).

В результате ограничений на использование сельскохозяйственного сырья объем инвестиций в индустрию

биотоплива нестабилен (падение на 8% в 2014 году по сравнению с предыдущим годом при быстром росте в секторе ветро- и солнечной энергетики) и остается относительно небольшим (\$5,1⁶ из \$270⁷ млрд вложений в альтернативную энергетику в 2014 году). Производство биотоплива в мире (около 100 млн т⁸ ежегодно) меньше суммарного производства бензина и дизельного топлива в одной только России и может покрыть лишь 3,5% мирового спроса на нефтепродукты. Кроме того, наиболее крупнотоннажное на сегодня биотопливо – этиловый спирт – по целому ряду характеристик уступает традиционным видам горючего при использовании в двигателях внутреннего сгорания. У этилового спирта много недостатков: меньшая, чем у привычных видов топлива, энергетическая плотность; проблемы при пуске в мороз двигателя, работающего на спирте или бензине, смешанном со спиртом; повышенный риск коррозии топливной системы автомобиля;

а также гигроскопичность, что создает угрозу поломки двигателя из-за попадания воды в камеру сгорания.

В связи с описанными проблемами идет активный поиск альтернативных источников биомассы и новых видов биотоплива.

Наиболее перспективными ресурсами считаются быстро размножающиеся микроводоросли, а также древесина, конечными продуктами – жидкие смеси углеводородов либо метиловых эфиров жирных кислот (FAME), близкие по свойствам традиционному бензину и дизельному топливу.

Основными преимуществами этих видов топлива над спиртами (метиловым, этиловым, бутиловым) являются отсутствие необходимости даже минимальных модификаций двигателей внутреннего сгорания при переходе с традиционного топлива на альтернативное, а также возможность использования существующей инфраструктуры – от нефтехимических заводов до автозаправочных станций.

ЭФФЕКТЫ

T | ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

Сотни миллиардов долларов позволит сэкономить использование существующей нефтехимической и распределительной инфраструктуры (от заводов до системы доставки топлива в розничные сети и оборудования заправочных станций) при переходе от производства углеводородного топлива из нефти к производству биотоплива из биомассы и отказе от преимущественного производства спиртов в качестве биотоплива

P | ПОЛИТИЧЕСКИЕ

Ослабление роли нефти и газа как фактора геополитики может привести к долгосрочной стабилизации ситуации на Ближнем Востоке

E' | ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ

На 150 млн т в год могут быть снижены нетто-выбросы углекислого газа в атмосферу за счет перевода части автотранспорта на жидкое топливо из древесной биомассы при полном использовании отходов мировой лесной промышленности. Еще больше могут снизиться такие выбросы при крупномасштабном развитии энергетического плантационного лесного хозяйства

V | ЦЕННОСТНЫЕ

Развитие индустрии биотоплива перестанет быть драйвером роста цен на продовольствие и увеличения числа голодающих в развивающихся странах

E | ЭКОНОМИЧЕСКИЕ

К стабилизации глобальных цен на продовольствие может привести рост доли древесной биомассы в биоэнергетике до 40–50% и сокращение доли энергетических сельскохозяйственных культур до 5% и менее к 2035 году (еще около 40–50%, как ожидается, даст использование водорослей и сельскохозяйственных отходов)

S | СОЦИАЛЬНЫЕ

На десятки процентов могут снизиться тарифы теплоэлектроцентралей и котельных в лесных зонах из-за сокращения зависимости локальных территориальных общностей от глобального нефтегазового рынка и спекулятивных скачков цен на нефть, газ и продукты их переработки

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ РЫНКОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Доля биотоплива и лесной биомассы в глобальном объеме сжигаемых разных видов топлива*

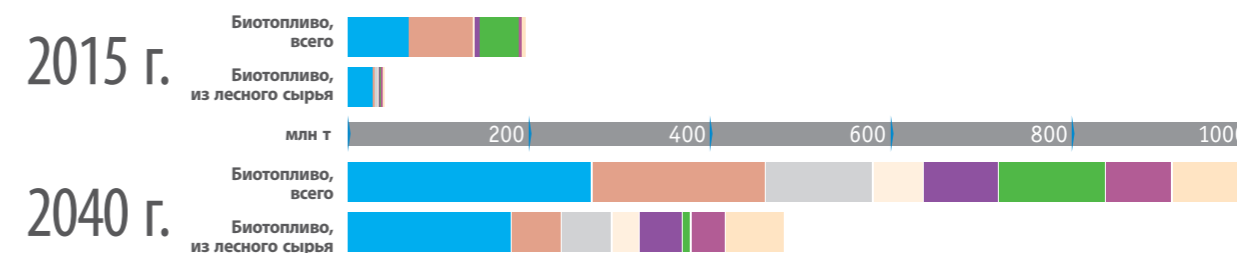
Продукт	Доля в энергопотреблении при сжигании топлива, 2015 год	Доля в энергопотреблении при сжигании топлива, 2035 год
Нефть	52%	25%
Газ	19%	15%
Уголь, сланцы и торф	13%	10%
Биотопливо из сельхозкультур, водорослей и отходов	12%	27%
Биотопливо из древесины	4%	23%



* Без учета использования деревянной древесины в развивающихся странах.

Ожидаемые объемы производства разных видов топлива из биомассы, млн т в год

Продукт	Объем производства из биомассы, 2015 год		Объем производства из биомассы, 2040 год	
	Всего	Из лесного сырья	Всего	Из лесного сырья
Пеллеты, брикеты и другие виды твердого топлива из биомассы	28	26	300	200
Биоэтанол	90	Меньше 1	190–210	Больше 60 ⁸
Биометанол	0,2 ⁹	Около 0,1	120–130	50–60
Биобутанол	Меньше 0,2	Меньше 0,1	50–60	20–30
Диметиловый эфир	Больше 5 ¹⁰	Меньше 0,1	80–90 ¹¹	40–50
Биодизель	30	Меньше 0,1	110–130 ¹²	Больше 10
Биобензин	0,1	0,05	70–80	30–40
Изобутилен / Изооктан	0,01	Меньше 0,1	90–100	60–70



ДРАЙВЕРЫ И БАРЬЕРЫ

Жесткие и тяготеющие к ужесточению целевые показатели развитых стран по доле биотоплива в потреблении транспортом (10–20% к 2020 году)¹⁵.

Недавнее принятие США и Китаем – крупнейшими загрязнителями атмосферы – политик, направленных на снижение нетто-выбросов парниковых газов¹⁸.

Значительные объемы не утилизируемых древесных и сельскохозяйственных отходов в ряде стран мира, включая Россию²⁰.

Неполное освоение расчетной лесосеки в России и некоторых других бореальных странах, рост доступных для рубок объемов малоценных мелколиственных пород деревьев²².

Развитие технологий, позволяющих с низкой себестоимостью осваивать сланцевую нефть¹⁶, газогидраты¹⁷ и другие нетрадиционные источники углеводородов, что обрушит цены на нефть и сделает технологии производства жидкого и газообразного топлива из биомассы экономически неконкурентоспособными.

Возможное изменение официальной доктрины ключевых стран – загрязнителей атмосферы в отношении глобального потепления климата (в т. ч. в результате возможного прихода к власти групп, отстаивающих интересы крупных промышленных компаний)¹⁹.

Конкуренция за древесное и сельскохозяйственное сырье со стороны производителей других видов биотоплива, прежде всего – древесных топливных гранул (пеллет)²¹.

Возможный отказ развитых стран от концепции интенсивного (плантационного) лесопользования в связи с выявленным значительным вредом массового развития лесных плантаций для биоразнообразия²³.

СМЕСЬ ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ – БИОБЕНЗИН

Сегодня в публикациях российских СМИ биобензином, как правило, называют смесь обычного бензина с этиловым спиртом. Такое топливо, активно внедряемое в США и Европе по экологическим соображениям, вызывает ряд нареканий у автомобилистов и пока не пользуется большой популярностью. За рубежом под биобензином (biogasoline) понимают аналог бензина (смесь углеводородов), полученный из растительной биомассы. Страны, богатые лесными ресурсами, но испытывающие нехватку нефтегазовых запасов, могут в будущем снизить свою зависимость от импорта энергоносителей за счет производства биобензина из древесины. Биобензин похож по составу на обычный бензин, отличаясь при этом в лучшую сторону большей полнотой сгорания и возможностью использования в двигателях с более высокой степенью сжатия, потому более мощных по сравнению с двигателями,

рассчитанными на бензин с октановым числом 95 или 98. Для производства биобензина из древесины требуется использовать технологию, в результате которой происходит преобразование целлюлозы и лигнина, из которых большей частью состоят древесные волокна, в моносахариды, дисахариды, спирты и другие вещества с последующим проведением комплекса химических реакций для превращения этих веществ в легкие углеводороды, составляющие бензин. Основными задачами совершенствования существующей технологии являются удешевление разложения целлюлозы и лигнина, а также сокращение цепочки дорогостоящих химических преобразований продуктов распада целлюлозы и лигнина в углеводороды. Перспективными для решения обеих задач представляются биохимические (ферментативные) методы, которые потребуют создания новых штаммов микроорганизмов методами

генной инженерии. Некоторые исследователи полагают, что в будущем массовое применение может найти технология прямого ферментативного преобразования этилового спирта в углеводороды.

Высокотехнологичный стартап Virent Energy Systems²⁴ (США, штат Висконсин), созданная в 2002 году, в 2010 году совместно с Royal Dutch Shell запустила опытно-промышленное производство бензина из водорастворимых сахаров минуя стадию спиртового сбраживания. Сырьем служат кукуруза, пшеница и другие сельскохозяйственные культуры с высоким содержанием крахмала^{25, 26}.

Следующими шагами в технологическом развитии этого направления должно стать снижение стоимости биобензина (до уровня конкурентоспособности с обычным бензином при цене нефти \$60 за баррель), а затем – освоение производства биобензина из древесины.

ИЗОБУТЕН ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ДЛЯ БИОБЕНЗИНА С ОКТАНОВЫМ ЧИСЛОМ 100

Изобутен (изобутилен) – изомер бутилена с общей химической формулой C₄H₈ – сегодня производится почти исключительно из углеводородного сырья. Мировой объем изготовления этого вещества составляет приблизительно 25 млн т в год. Половина этого объема используется для производства присадок к автомобильному топливу с целью повышения его октанового числа. Одной из таких присадок является изооктан – вещество, принятое в качестве эталона 100-балльной шкалы сопротивления топлива детонации (октановой шкалы), поэтому чистый изооктан может рассматриваться как бензин с октановым числом 100. Другие примеры применения изобутена – производство авиатоплива, бутиловой резины для покрышек, пластиков, красок, органического стекла.

Инновационная компания Global Bioenergies²⁷, расположенная во Франции, последние несколько лет активно разрабатывала технологию производства изобутена из органических остатков растений с использованием специальной генетически измененной культуры

микроорганизмов. Процесс аналогичен дрожжевому сбраживанию сахаров, когда в результате питания микроорганизмов сахарами образуются этиловый спирт и углекислый газ. Отличие новой технологии заключается в том, что продукт метаболизма новой микрокультуры – газ изобутен – при образовании испаряется с поверхности питательного раствора. Этиловый спирт, накапливаясь по мере брожения в бродильном чане, при достижении определенной концентрации убивает дрожжи, и процесс брожения останавливается; аналогичные проблемы характерны для микрокультур, создаваемых методами метаболического инжиниринга для производства высокомолекулярных спиртов²⁸. В результате при изобутиновом брожении органики концентрация конечного продукта находится на постоянно низком уровне, так что процесс может идти непрерывно при условии своевременной подачи сырья в чан.

В мае 2015 года компания Global Bioenergies на своем экспериментальном заводе вблизи г. Реймс произвела в промышленном масштабе

первую партию изобутена, полученного из органического сельскохозяйственного сырья. Из изобутена на нефтехимическом заводе в Германии был произведен изооктан, и это топливо – высококачественный заменитель обычного бензина – было протестировано компанией Audi²⁹.

Ведется работа по освоению методов использования древесной биомассы для производства изобутена. Этот процесс включает в себя предварительную ферментацию с целью разложения целлюлозы и лигнина на сахара, подверженные изобутиновому сбраживанию.

Ранее для разложения целлюлозы на сахара (для этанолового сбраживания) применялись методы гидролиза, связанные с варкой древесной биомассы в серной кислоте под давлением³⁰. Новая технология позволит получать высококачественное моторное топливо и ряд видов традиционной нефтехимической продукции за счет экологически чистой переработки древесной биомассы (в т. ч. древесных отходов) без использования опасных химических реагентов.

БИОДИЗЕЛЬ ИЗ ТАЛЛОВОГО МАСЛА И СКИПИДАРА

Большие масштабы мировой целлюлозно-бумажной промышленности (до 200 млн т целлюлозы в год³¹) дают возможность получения суммарно до 15 млн т ценных побочных продуктов – скипидара и таллового масла. Первое из этих веществ может стать распространенной присадкой к традиционному дизельному топливу, а второе – сырьем для получения биодизеля – органического топлива, аналогичного по свойствам дизельной фракции нефти. Биодизель может использоваться в обычных дизельных двигателях, в том числе на автомобильном транспорте, и не требует переделки двигателя. Он отличается несколько более высоким, чем у обычного дизельного топлива, цетановым числом (58–60 против 50–55; это обеспечивает более плавное нарастание давления при горении топлива в камерах сгорания двигателя и снижает его износ) и значительно меньшим количеством вредных выбросов в атмосферу по сравнению с нефтяным дизельным топливом.

В зарубежных странах проводятся опытные испытания работы различных дизельных двигателей на топливе, представляющем собой смесь 5–30% скипидара и 70–95% обычного дизельного топлива. Применение таких

ИСТОЧНИКИ

- 1 Key World Energy Statistics / IEA, 2015
- 2 Если в середине XX века энергии одного барреля нефти хватало в среднем для добычи 50 баррелей, то к 2010 году это соотношение снизилось до 1:10 / Геологоразведка, добыча и переработка полезных ископаемых: перспективы научно-технологического развития. Аналитический доклад к заседанию Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России / НИУ «Высшая школа экономики», МГУ им. М. В. Ломоносова. Москва, 2015
- 3 Глобальные нефтегазовые корпорации: современные вызовы и модернизация бизнес-модели / А. Березной / Lambert Academic Publishing, 2014
- 4 Desertification Land Degradation & Drought (DLDD) – Some Global Facts & Figures / UNCCD, 2014
- 5 The State of Food Insecurity in the World 2015 / FAO, 2015
- 6 Global trends in renewable energy investment, 2015 / Frankfurt School. FS-UNEP Collaborating Centre, 2015
- 7 Renewables Re-energized: Green Energy Investments Worldwide Surge 17% to \$270 Billion in 2014
- 8 Renewable Energy. Medium-Term Market Report, 2014. Executive Summary / OECD-IEA, 2014
- 9 При консервативно оцененном среднегодовом темпе роста 4%, что ниже среднегодового темпа роста в последние годы, находящегося в диапазоне 5–6% / Renewables 2014 Global Status Report / Renewables Energy Policy Network for the 21-st Century
- 10 Production of cellulosic ethanol from wood sawdust / J. N. Nwakaire, S. L. Ezeoha, B. O. Ugwuishiwu / Agric Eng Int: CIGR Journal, vol. 15, № 3
- 11 Methanol from Biomass Fact Sheet / European Biofuels Technology Platform, 2015

смесей на 10–45% снижает удельные выбросы сажи и наиболее токсичных вредных веществ, таких как несгоревшие углеводороды и оксиды азота^{32, 33}. Многочисленные примеры из практики³⁴ эксплуатации легковых автомобилей с дизельным двигателем также показали, что смесь растительного масла и скипидара в соотношении 80:20, изготовленная в бытовых условиях, может использоваться как заменитель традиционного дизельного топлива в большинстве автомобильных дизельных двигателей. При стоимости отработанного растительного масла около 0,25 евро за 1 кг³⁵, для многих автолюбителей такой вид топлива может стать реальной альтернативой покупке топлива на заправочных станциях. В ряде развитых стран (Германии, Японии и др.) формируется рынок отработанного растительного масла (WCO) и внедряются специальные меры государственной политики, направленные на стимулирование его сбора и сдачи населением³⁶.

Основным препятствием для расширения использования скипидара в топливных целях является его довольно высокая стоимость по сравнению с бензином. Развитие специализированных хвойных плантаций и улучшение технологий получения

- 12 The developing DME market: What it means for LPG / LPGas, 2015
- 13 При умеренно оптимистично оцененном среднегодовом темпе роста 10,5–11% в год // http://www.reuters.com
- 14 При консервативно оцененном среднегодовом темпе роста 7%, что ниже среднегодового темпа роста в последние годы, находящегося в диапазоне 9–11% // http://www.ren21.net
- 15 http://www.upm.com, http://www.cleantechnifinland.com/
- 16 Here is why Barents oil is becoming unprofitable / Barents Observer, 2014
- 17 Japan extracts gas from methane hydrate in world first / BBC, 2013
- 18 Fact Sheet: U.S. – China Joint Announcement on Climate Change and Clean Energy Cooperation
- 19 James Inhofe: Seven memorable lines from US's most famous (and most influential) climate change denier
- 20 Stagnating liquid biofuel developments in Russia: Present status and future perspectives / A. O. Pristupa; A. P. J. Mol; P. J. M. Oosterveer // Energy Policy 38 (2010). – ISSN 0301–4215, Pages 3320–3328
- 21 Global Wood Pellet Consumption Outlook
- 22 The Russian Federation Forest Sector Outlook Study to 2030 / FAO, 2012
- 23 Forest Plantations and Biodiversity: A Fresh Perspective / S. Stephens, M. Wanger / Journal of Forestry, 08/2007; 105(6), Pages 307–313
- 24 Company Overview of Virent Energy Systems, Inc.
- 25 http://advancedbiofuelsassociation.com
- 26 http://www.biofuelsdigest.com
- 27 http://www.global-bioenergies.com
- 28 Advanced biofuel production by the yeast

очищенного скипидара на целлюлозных комбинатах может решить эту проблему.

Талловое масло – перспективное сырье для производства биодизеля, альтернативное пальмовому маслу и разным растительным маслам, получаемым из сельскохозяйственных культур. Процесс производства биотоплива заключается в комплексном термическом и химическом воздействии на талловое масло для преобразования (этерификации) его компонентов в метиловые эфиры жирных кислот (FAME), входящие в состав биодизельного топлива. Не все компоненты таллового масла пригодны для такой реакции, поэтому только 40% массы таллового масла может быть преобразовано в биодизель. Поскольку стоимость таллового масла ниже стоимости большинства растительных масел, а процесс этерификации во многом схож для всех масел, то общая себестоимость биодизеля из таллового масла может быть существенно ниже, чем из растительного (по некоторым данным, она может не превышать \$0,3 против \$0,65 за 1 л³⁷).

Подготовил Илья КУЗЬМИНОВ, ведущий эксперт Форсайт-центра Института статистических исследований и экономики знаний (ИСИЭЗ) НИУ ВШЭ

- 29 Saccharomyces cerevisiae / Nicolaas A Buijs1, Verena Siewers, Jens Nielsen / Current Opinion in Chemical Biology / Volume 17, Issue 3. June 2013. P. 480–488
- 30 Sulfite pretreatment (SPORL) for robust enzymatic saccharification of spruce and red pine / J. Y. Zhu, X. J. Pan, G. S. Wang, R. Gleisner / Bioresource Technology, Volume 100, Issue 8. April 2009. P. 2411–2418
- 31 http://www.forestindustries.se
- 32 Performance and exhaust emission of turpentine oil powered direct injection diesel engine / B. Prem Anand, C. G. Saravanan, C. Ananda Srinivasan / Renewable Energy, Volume 35, Issue 6. June 2010. P. 1179–1184
- 33 Performance and emission characteristics of a turpentine – diesel dual fuel engine / R. Karthikeyana / N.V. Mahalakshmi / Energy, Volume 32, Issue 7. July 2007. P. 1202–1209
- 34 http://beyondbiodiesel.org
- 35 Economic analysis of a plant for biodiesel production from waste cooking oil via enzymatic transesterification using supercritical carbon dioxide / Pedro Lisboa, Ana Rita Rodrigues, José Luis Martín, Pedro Simões, Susana Barreiros, Alexandre Paiva / The Journal of Supercritical Fluids, Volume 85, January 2014. P. 31–40
- 36 How to increase the recovery rate for waste cooking oil-to-biofuel conversion: A comparison of recycling modes in China and Japan / Huiming Zhang, U. Aytun Ozturka, Dequn Zhou, Yueming Qiu, Qing Wud / Ecological Indicators / Volume 51. April 2015. P. 146–150
- 37 Methylation of wood fatty and resin acids for production of biodiesel, Ayhan Demirbas, Fuel 90 (2011), Pages 2273–2279