



БИОТÓПЛИВО

Авторы: К. Н. Трубецкой, Ю. Ф. Лачуга

БИОТÓПЛИВО (биологическое топливо), топливо из растительного или животного сырья, из продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов, получаемое из *биомассы* термохимическим или биологическим способом. Биотопливо классифицируют по агрегатному состоянию и поколениям. По агрегатному состоянию различают жидкую биомассу (обычно применяют для двигателей внутреннего сгорания); твёрдое биотопливо (способно гореть при условии, что топливо состоит из горючего, например дерева, и окислителя, которым часто служит кислород воздуха); газообразное – *биогаз* (газ, получаемый брожением биомассы), биоводород, метан. Биотопливо, как правило, делится на первичное и вторичное. Первичное биотопливо используется в необработанном виде, в первую очередь для отопления, приготовления пищи и электричества; в основном это топливная древесина, каменный уголь. Вторичное биотопливо можно условно разделить на три поколения (на основе различных параметров, типа технологии обработки, исходного сырья и др.); производится путём переработки биомассы и используется на транспортных средствах, в различных промышленных процессах и др.

Биотопливо первого поколения производится из традиционных сельскохозяйственных культур с высоким содержанием жиров, крахмала, сахаров посредством применения технологий, близких к естественным биологическим и термохимическим процессам (например, брожение). Однако это сырьё используется в пище людей и животных. Т. о., помимо затратного землепользования (необходимость использования качественных пахотных земель) с истощением почв и высокими потребностями в их обработке, изъятие этого сырья с рынка прямо повлияет на цену пищевых продуктов (основной недостаток производства биотоплива первого поколения). Условная эффективность производства биотоплива из биомассы первого поколения составляет примерно 35–45%.

Биотопливо второго поколения получают из непищевого сырья (отработанные жиры и растительные масла, биомасса деревьев и растений) разными методами. Такое сырьё содержит целлюлозу и лигнин. Технологически производство биотоплива второго поколения представляет собой процесс получения топлива посредством переработки целлюлозы и лигнина, содержащихся в древесной или волокнистой биомассе, что менее затратно, чем получение биотоплива у культур первого поколения. Его можно прямо сжигать (как это традиционно делали с дровами), газифицировать (получая горючие газы), осуществлять *пиролиз*, который позволяет превратить биомассу в жидкость. Из жидкости можно сделать автомобильное топливо или топливо для электростанций. Сырьём для подобного производства может быть любая биомасса, включая отходы деревообрабатывающего производства и остатки пищи. Основным источником сырья второго поколения – растения: водоросли, простые живые организмы, приспособленные к росту и размножению в загрязнённой или солёной воде (содержат до двухсот раз больше масла, чем источники первого поколения, такие как соевые бобы); рыжик (растение), растёт в ротации с пшеницей и другими зерновыми культурами; ятрофа (*Jatropha curcas*), растёт в засушливых почвах, содержит масла от 27 до 40% в зависимости от вида. Условная эффективность производства

биотоплива из биомассы второго поколения составляет примерно 50%. Производство биотоплива второго поколения в настоящий момент является очень капиталоемким процессом, т. к. соответствующие технологии весьма дороги.

Биотопливо третьего поколения получают из водорослей (не требуют земельных ресурсов, имеют большую концентрацию биомассы и высокую скорость воспроизводства). Перспективность этого направления развития связана со спецификой состава водорослей (в штамме водорослей содержание жиров составляет от 75 до 85% сухого веса). Водоросли рассматривают как наиболее перспективное сырьё для производства топлива из возобновляемых источников. По оценкам специалистов, из водорослей, растущих на прудах суммарной площадью 200 тысяч га, можно производить топливо, достаточное для годового потребления 5% автомобилей США (для США это 0,02% земельного фонда, для России – чуть более 0,01%). Установлено, что с 1 акра (4047 м²) водорослей можно произвести в 30 раз больше энергии, чем с акра наземных растений, таких как, например, соя.

Жидкое (моторное) биотопливо

Вещество, получаемое в ходе переработки растительного сырья (кукурузы, рапса, сахарной свёклы, сахарного тростника и др.), отходов деревообработки средствами технологий, в основе которых лежит использование естественных биологических процессов (например, брожения). Основное применение жидкого биотоплива – двигатели. Жидкое биотопливо подразделяется на биоэтанол, биометанол, биобутанол, диметилловый эфир, биодизель.

Биоэтанол – обычный этанол, получаемый в процессе переработки растительного сырья для использования в качестве биотоплива; биотопливный заменитель бензина. Этанол в Бразилии производится преимущественно из сахарного тростника, в США – из кукурузы. Производство этанола из тростника на сегодняшний день экономически более выгодно, чем из кукурузы. Сырьём для производства биоэтанола также могут быть различные сельскохозяйственные культуры с большим содержанием крахмала или сахара: маниок, картофель, сахарная свёкла, батат, сорго, ячмень и т. д. Существует 2 основных способа получения биоэтанола – микробиологический (спиртовое брожение) и синтетический (гидратация этилена). Следствием брожения является раствор, содержащий не более 15% биоэтанола, поскольку в более концентрированных растворах дрожжи обычно гибнут. Полученный таким образом биоэтанол нуждается в очистке и концентрировании, обычно путём дистилляции. В промышленных масштабах этиловый спирт получают из сырья, содержащего целлюлозу (различные отходы сельского и лесного хозяйства – пшеничная солома, рисовая солома, древесные опилки и т. п.), которую предварительно подвергают гидролизу (см. [Гидролиз растительных материалов](#)). Смесь, образовавшаяся при этом, подвергают спиртовому брожению. С учётом того, что ежегодно на нашей планете образуется ок. 200 млрд. т растительной целлюлозосодержащей биомассы, биосинтез целлюлозы – самый крупномасштабный синтез в настоящем и будущем. Глобальное производство этанола на 2009 составило 73,9 млрд. литров, в 2010 – 85,9 млрд. литров (на 16,2% больше, чем в 2009). В 2014 производство этанола (91,4 млрд. литров) заместило потребность, эквивалентную 430 млн. баррелей нефти. Мировым лидером в области производства биоэтанола (2014) являются США – 53,2 млрд. литров (14 млрд. галлонов).

Биометанол – обычный метанол, первый представитель гомологического ряда одноатомных спиртов, который используется в качестве биотоплива. Промышленное культивирование и биотехнологическая конверсия

морского фитопланктона рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений в области получения биотоплива. Производство биомассы для получения биометанола осуществляется путём обработки фитопланктона в специально созданных водоёмах на морском побережье. Вторичные процессы представляют собой метановое брожение биомассы и последующее гидроксигирование метана с получением метанола. Основными доводами в пользу использования микроскопических водорослей являются: высокая продуктивность фитопланктона (до 100 т/га в год); в производстве не используются плодородные почвы, пресная вода; процесс не конкурирует с сельскохозяйственным производством и др. Метанол может использоваться как в классических двигателях внутреннего сгорания, так и в специальных топливных элементах для получения электричества. Достоинства биометанола: низкий объём выбросов углекислого газа; возможность организовать переработку (рециклинг) отходов животноводства и сельского хозяйства. Недостатки: низкий энергетический КПД (максимум 68%); бесцветное пламя, что может привести к аварийным ситуациям; срок окупаемости проекта (до 20 лет); метанол травит алюминий (проблемным становится использование алюминиевых карбюраторов и инжекторных систем подачи топлива в двигателях внутреннего сгорания). На долю транспортных средств приходится 20% совокупного потребления метилового спирта (как в чистом виде, так и в виде его производных). Помимо применения метанола в качестве альтернативы бензина, существует технология применения метанола для создания на его базе угольной суспензии, которая в США имеет коммерческое наименование «метакол» (methacoal). Такое топливо предлагается как альтернатива мазуту, широко используемого для отопления зданий (топочный мазут). Такая суспензия, в отличие от водоуглеродного топлива, не требует специальных котлов и имеет более высокую энергоёмкость.

Биобутанол (бутиловый спирт, бутанол) – бесцветная жидкость, получаемая из растительного сырья, с характерным запахом сивушного масла. Энергия бутанола близка к энергии бензина. Бутанол может использоваться в топливе и также как сырьё для производства водорода. Сырьём для производства биобутанола могут быть сахарный тростник, маниока, свёкла, а в будущем и целлюлоза. В 1950-х гг. бутанол производили из нефтепродуктов. Бутанол, произведённый из биомассы, принято называть биобутанолом, хотя он имеет абсолютно те же характеристики, что и бутанол, полученный из нефти (химического сырья). Бутанол применяют как растворитель в лакокрасочной промышленности, в производстве смол и пластификаторов, в синтезе многих органических соединений, в качестве компонента к традиционным топливам или как самостоятельное топливо для транспортных средств. Но прежде всего его используют в качестве промышленного растворителя.

Диметиловый эфир – топливо, производимое из природного газа, угля, отходов целлюлозно-бумажного производства; экологически чистый продукт. Диметиловый эфир применяют очень широко, так как его использование не требует каких-то специальных очисток, но необходима переделка систем питания и зажигания двигателя внутреннего сгорания (например, возможно применение этого биотоплива на автомобилях с LPG-двигателями). Автомобили с двигателями, работающими на диметиловом эфире, разрабатывают КАМАЗ, «Volvo», «Nissan» и китайская компания «SAIC Motor».

Биодизель – биотопливо на основе растительных или животных жиров (масел), а также продуктов их этерификации (моноалкиловые эфиры жирных кислот). Сырьём для производства биодизеля служат жирные, реже – эфирные масла различных растений или водорослей: в Европе – рапс; США – соя; Канаде – канаола (разновидность рапса); в Индонезии, на Филиппинах – пальмовое и кокосовое масло; в Индии – ятрофа; Африке

– соя, ятрофа; Бразилии – касторовое масло. Также применяются отработанное растительное масло, животные жиры, рыбий жир и т. п.

В России (Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, СКНИИМЭСХ) разработана технология и модульная установка «БИОДОН-1М» для производства жидкого биотоплива из растительных масел непищевого назначения с высоким значением кислотного числа (8–13 мг КОН/г). Оборудование, необходимое для выполнения технологического процесса получения биодизеля из растительных масел, размещается в стандартном 20-футовом контейнере, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией. Благодаря этому, установка легко транспортируется. Для монтажа и запуска установки в работу необходимы ровная площадка, подвод воды и трёхфазного тока напряжением 380 В. Установка состоит из реактора, промывочной ёмкости, ёмкости для приготовления катализатора, узла смешивания, конденсатора для охлаждения паров метанола, системы трубопроводов, шкафа управления. Реактор служит для получения из растительного масла метилового эфира жирных кислот (биодизеля) и технического глицерина методом этерификации. Затем биодизель-сырец перекачивают в промывочную ёмкость, где происходит его отмывка от омыленного продукта. Далее готовый биодизель поступает в накопительную ёмкость.

Установка позволяет перерабатывать растительные масла с последующим использованием в качестве самостоятельного топлива, а также в качестве добавки к дизельному топливу нефтяного происхождения автономно, непосредственно в условиях различных сельхозпредприятий. Для получения жидкого биотоплива в качестве исходного компонента могут быть использованы рапсовое, подсолнечное, льняное, горчичное и др. растительные масла с кислотным числом для 13 мг КОН/г. При максимальном значении кислотного числа 13 мг КОН/г растительного масла получение биотоплива, соответствующего ГОСТ Р 53605-2009, на установке «БИОДОН-1М» с применением непрерывного способа дозирования компонентов обеспечивается с предварительным подогревом масла до 50° С. Для получения биотоплива из растительных масел с кислотным числом до 8,6 мг КОН/г предварительный нагрев растительных масел не требуется. Также разработана технология углекислой промывки для нейтрализации остатков катализатора КОН при производстве жидкого биотоплива, которая исключает возможность попадания воды в готовое биотопливо, что обеспечивает его гарантированно высокое качество для работы с двигателями внутреннего сгорания. Установка не имеет отечественных аналогов и существенно отличается от малогабаритных зарубежных установок (компоновкой, новыми техническими решениями, как-то: использованием различных видов исходного сырья, применением гидродинамического смесителя и вакуумного дозатора непрерывного действия, углекислотной промывки готового продукта и др.).

Наиболее перспективным источником сырья для производства биодизеля являются водоросли. По оценкам экспертов, с одного акра (4047 м² ~ 0,4 га) земли можно получить 255 литров соевого масла или 2400 литров пальмового масла. С такой же площади водной поверхности можно производить до 3570 баррелей бионефти (1 баррель = 159 литров). Основные преимущества: биодизель характеризуется хорошими смазочными свойствами, что продлевает срок жизни двигателя (это вызвано его химическим составом и содержанием в нём кислорода); при работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в результате которой, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60% (например, грузовик из Германии попал в Книгу рекордов Гиннеса, проехав более 1,25 млн. километров на биодизельном топливе со своим оригинальным двигателем); нет

необходимости модернизировать двигатель; биодизель при попадании в почву не причиняет вреда растениям и животным, подвергается практически полному биологическому распаду (в почве или в воде микроорганизмы за 28 дней перерабатывают 99% биодизеля, что позволяет говорить о минимизации загрязнения окружающей среды); в сравнении с обычным дизельным топливом почти не содержит серы; температура вспышки для биодизеля превышает 100 °С, что позволяет считать биотопливо относительно безопасным веществом; производство биодизеля способствует вводу в оборот низкокачественных неиспользуемых сельскохозяйственных земель; полученный в ходе производства биодизеля жмых можно использовать в качестве компонентов корма для скота, что позволяет наиболее полно использовать сырьевую биомассу. Основной недостаток: в холодное время года необходимо подогревать топливо, идущее из топливного бака в топливный насос, или применять смеси 20% биодизеля и 80% минерального дизельного топлива; хранить технику, заправленную биодизелем более 3 месяцев, не рекомендуется – он склонен к окислению и чувствителен к воде, конденсирующейся на стенках топливных баков. Кроме того, недостатком биодизеля для климатических условий России является то, что он по своим физико-химическим свойствам соответствует летнему дизельному топливу.

Твёрдое биотопливо

Самый распространённый представитель вида – дрова. В настоящее время для производства дров или биомассы используются энергетические леса – быстрорастущих пород древесины, кустарников и трав (ива, тополь, эвкалипт, акация, сахарный тростник, кукуруза и др.). Посадку производят квадратно-гнездовым способом или в шахматном порядке. В междурядьях из деревьев часто высаживают сельскохозяйственные культуры (так называемые комбинированные посадки). Период ротации энергетического леса (от срезания до срезания) составляет 4–6 лет. В ряде стран, таких как Италия, Германия, Аргентина, Польша и др., широко практикуется создание специальных плантаций быстрорастущих пород древесины тополя и ивы. В Северной Индии посадки быстрорастущего тополя и эвкалипта занимают примерно от 50 до 60 тыс. га. Ежегодно на таких плантациях заготавливается ок. 3,7 млн. тонн древесины. Щепа и другие виды древесных отходов, топливные гранулы и брикеты и прочие виды биомассы могут представлять собой высокоэффективное, экологически чистое, возобновляемое и экономичное топливо.

Топливные гранулы – прессованные изделия из древесных отходов (опилок, щепы, коры, тонкомерной и некондиционной древесины, порубочные остатки при лесозаготовках), соломы, отходов сельского хозяйства (лузги подсолнечника, ореховой скорлупы, навоза, куриного помёта) и другой биомассы. Древесные топливные гранулы называются пеллеты, они имеют форму цилиндрических или сферических гранул диаметром 8–23 мм и длиной 10–30 мм. В настоящее время в России производство топливных гранул и брикетов экономически выгодно только при больших объёмах.

Технологический процесс производства гранул. Сырьё (опилки, кора и т. д.) поступает в дробилку, где измельчается до состояния муки. Полученная масса поступает в сушилку, из неё – в пресс-гранулятор, где древесную муку сжимают в гранулы. Сжатие во время прессовки повышает температуру материала, лигнин, содержащийся в древесине, размягчается и склеивает частицы в плотные цилиндрики. На производство одной тонны гранул уходит 4–5 м³ древесных отходов. Готовые гранулы охлаждают, пакуют в стандартную упаковку 12–40 кг или доставляют приобретателю россыпью. Гранулы менее подвержены самовоспламенению, так как

не содержат пыли и спор, которые также могут вызывать аллергическую реакцию у людей. Отличаются от обычной древесины высокой сухостью (8–12% влаги против 30–50% в дровах) и большей (примерно в полтора раза) плотностью. Эти качества обеспечивают высокую теплотворную способность по сравнению со щепой или дровами (при сгорании тонны гранул выделяется приблизительно 5 тыс. кВт·ч тепла, что в полтора раза больше, чем у обычных дров). Топливные гранулы – экологически чистое топливо с содержанием золы не более 3%.

Топливные брикеты – высушенные и брикетированные энергоносители биологического происхождения (различных отходов деревообработки, торфа, отходов сельского хозяйства и др.), экологически чистый материал, с высокой теплоотдачей. Используется как топливо, как заготовка при выработке древесного угля или кокса. В основе технологии производства топливных брикетов лежит процесс прессования шнеком отходов (шелухи подсолнечника, гречихи и т. п.) и мелко измельчённых отходов древесины (опилок) под высоким давлением при нагревании от 250 до 350 °С. Получаемые топливные брикеты не включают в себя никаких связующих веществ, кроме одного натурального – лигнина, содержащегося в клетках растительных отходов. Температура, присутствующая при прессовании, способствует оплавлению поверхности брикетов, которая благодаря этому становится более прочной, что немаловажно для транспортировки брикета. Различают 3 основных типа брикетов: прямоугольные, 4- или 6-гранные брикеты (за счёт термической обработки имеют характерный чёрный или тёмно-коричневый цвет наружной поверхности). Брикеты отличаются стойкостью к механическим повреждениям, высокой влагостойкостью и калорийностью, длительным временем горения.

Биоуголь обычно получают в процессе нагревания древесины, стеблей растений или других органических материалов без доступа кислорода. Наиболее распространённый способ получения биоугля – пиролиз. В последние годы возрастает интерес к применению технологии отжига биомассы (торрефикация), которая позволяет получать биотопливные гранулы с высоким объёмным теплосодержанием. В США такая технология была применена впервые в 2008 компанией «Integro Earth Fuels».

Навоз – вид твёрдого биотоплива животного производства. Благодаря сбраживанию определённых бактерий с навозом и сушке, получают товар горения, который прессуется в блоки и используется как топливо для тепловых электростанций. Высушенный навоз – кизяк (название происходит от тюркского, казахского тезек) использовался и иногда используется теперь в качестве топлива (например, для сжигания в печи у тюркских народов для обогрева или приготовления пищи), а также для построения жилищ.

Газообразное топливо

Сырьём для производства биогаза могут служить навоз, птичий помёт, зерновая и мелассная послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха (кровь, жир, кишки, каныга), трава, бытовые отходы, отходы молокозаводов (солёная и сладкая молочная сыворотка), отходы производства биодизеля (технический глицерин от производства биодизеля из рапса), отходы от производства соков (жом фруктовый, ягодный, овощной, виноградная выжимка, водоросли), отходы производства крахмала и патоки (мезга и сироп), отходы переработки картофеля, производства чипсов (очистки, шкурки, гнилые клубни, кофейная пульпа). Кроме этого, биогаз можно производить из специально выращенных энергетических культур, например из силосной кукурузы или силфифа, а также из водорослей.

Свалочный газ – одна из разновидностей биогаза. Получается на свалках из муниципальных бытовых отходов, что позволяет эффективно решить проблему замусоренности крупных городов и существенно улучшить

экологическую обстановку.

Одной из главных задач биогазовых станций (помимо получения электрической и тепловой энергии) является переработка отходов, получение удобрений, улучшение экологической обстановки окружающей среды.

Технология производства биогаза (метанового брожения) осуществляется в аппарате (метантенк), включающем загрузчик сырья, реактор, мешалки, газгольдер, систему смешивания воды, систему отопления, газовую систему, насосную станцию, сепаратор, приборы контроля. Биомасса (отходы или зелёная масса) периодически подаётся с помощью насосной станции или загрузчика в реактор. Реактор представляет собой подогреваемый и утеплённый резервуар (железобетон или сталь с покрытием), оборудованный мешалками. В реакторе живут полезные бактерии, питающиеся биомассой. Для поддержания жизни бактерий требуется подача корма, подогрев до 35–38 °С и периодическое перемешивание. Образующийся биогаз скапливается в хранилище (газгольдере), затем проходит систему очистки и подаётся к потребителям (котёл или электрогенератор). Реактор работает без доступа воздуха, герметичен и неопасен. Для сбраживания некоторых видов сырья в чистом виде требуется особая технология, например переработка по одностадийной технологии без химических добавок, но при коферментации (смешивании) с другими видами сырья, например с навозом или силосом.

Состав и качество биогаза: 50–87% метана, 13–50% CO₂, незначительные примеси H₂ и H₂S. После очистки биогаза от CO₂ получается биометан – полный аналог природного газа, отличие только в происхождении. Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Из тонны навоза крупного рогатого скота получается 50–65 м³ биогаза с содержанием метана 60%, из различных видов растений 150–500 м³ биогаза с содержанием метана до 70%. Максимальное количество биогаза можно получить из жира – 1300 м³ с содержанием метана до 87%. Основная задача биогазовых станций – переработка отходов, получение удобрений, улучшение экологической обстановки окружающей среды и только потом – получение электрической и тепловой энергии.

Биогаз используют в качестве топлива для производства электричества, тепла или пара или в качестве автомобильного топлива (например, фирмы «Volvo» и «Scania» производят автобусы с двигателями, работающими на биогазе). Биогазовые установки могут устанавливаться как очистные сооружения на фермах, птицефабриках, спиртовых заводах, сахарных заводах, мясокомбинатах. Биогазовая установка может заменить ветеринарно-санитарный завод, т. е. падала может утилизироваться в биогаз вместо производства мясокостной муки. Среди промышленно развитых стран ведущее место в производстве и использовании биогаза по относительным показателям принадлежит Дании (до 18% в её общем энергобалансе). По абсолютным показателям по количеству средних и крупных установок ведущее место занимает Германия (8000 тыс. штук). В Западной Европе не менее половины всех птицеферм отапливаются биогазом. В Индии, Вьетнаме, Непале и других странах строят малые (односемейные) биогазовые установки. Получаемый в них газ используется для приготовления пищи. Китай на сегодняшний день является мировым лидером по внедрению технологии производства биогаза. Суммарный выпуск биогаза в стране составляет 14 млрд. м³/год. По мнению экспертов, при сохранении текущих темпов роста биогазовой индустрии (а это практически ежегодное удвоение рынка) Китай выйдет в мировые лидеры по производству биогаза уже к 2020 году.

Биоводород – водород, полученный из биомассы термохимическим, биохимическим или другим способом. При

термохимическом методе биомассу нагревают без доступа кислорода до температуры 500–800° С (для отходов древесины), что намного ниже температуры процесса газификации угля. В результате процесса выделяется H₂, CO и CH₄. Биоводород можно получать термомеханическим способом из отходов древесины, однако себестоимость данного метода пока слишком высока. В биохимическом процессе водород вырабатывают различные бактерии, например *Rhodobacter sphaeroides*, *Enterobacter cloacae*. Возможно применение различных ферментов или энзимов [от лат. fermentum – закваска; обычно белковые молекулы или их комплексы, ускоряющие (катализирующие) химические реакции в живых системах] для ускорения производства водорода из полисахаридов (крахмал, целлюлоза), содержащихся в биомассе. Процесс проходит при температуре 30 °С и нормальном давлении. Водород может производить группа зелёных водорослей, например *Chlamydomonas reinhardtii*. Водоросли могут производить водород из морской воды или канализационных стоков. Разрабатывается проект получения биоводорода микробиологическим путём с использованием принципов, аналогичных тем, которые используются для получения биогаза. Методом бутилового брожения сахарозы или крахмала с 1 т мелассы можно получить до 140 м³ водорода, 1 т стеблей сладкого сорго – 50 м³, 1 т картофеля – 42 м³.

Применение водорода на транспорте и в энергетике в настоящее время обусловлено отсутствием развитой инфраструктуры, ограничиваясь созданием концептуальных моделей водородных автомобилей и техники, работающей на топливных водородных элементах. Усложняют возможность использования водорода в качестве топлива и проблемы безопасности: водород может создавать с воздухом взрывоопасную смесь – гремучий газ; сжиженный водород обладает исключительными проникающими свойствами, требуя применения особых материалов.

Синтез– газ (сигаз) – смесь газов, главными компонентами которой являются CO и H₂; используется для синтеза разных химических соединений. В настоящее время синтез-газ производят конверсией природного газа либо нефтепродуктов (от лёгкого бензина – нефти до нефтяных остатков) и лишь в небольших масштабах химической переработкой древесины, а также газификацией углей. В зависимости от применяемого сырья и вида конверсии (водяным паром или нестехиометрическим количеством O₂) соотношение компонентов в газовой смеси изменяется в широких пределах. Синтез-газ получают также наряду с целевым продуктом ацетиленом при окислительном пиролизе природного газа.

Историческая справка

Первые шаги к созданию биотоплива предпринимались с появления бутанола (бутилового спирта). Тогда использовался процесс ферментации с участием бактерии *Clostridium acetobutylicum*, называемый также АВЕ-процессом по названию трёх конечных продуктов брожения – ацетона, бутанола и этанола. Огромное значение в развитии биотоплива сыграла автопромышленность. Уже в 1826 американский изобретатель С. Мори создал двигатель, топливом для которого служили спирт и скипидар. Было доказано, что растительное масло вполне можно употреблять в качестве горючего для паровых машин и пароходов. В 1876 немецкий изобретатель Н. [Отто](#) создал первый в мире четырёхтактный двигатель внутреннего сгорания, работавший на этаноле. Различными модификациями этого двигателя мы пользуемся до сих пор. Создавались и ещё более необычные проекты. Например, в 1895 Р. [Дизель](#) предложил тип дизельного мотора, основанного на использовании

арахисового масла. Г. [Форд](#) был настолько уверен в будущем спиртовых автомобилей, что даже построил на Среднем Западе США спиртоперегонный завод, куда вложил немалые средства. Во время 1-й мировой войны автомобили большинства стран мира использовали этанол в качестве топлива наряду с бензином.

В 17 в. Я. Б. ван [Гельмонт](#) обнаружил, что разлагающаяся биомасса выделяет воспламеняющиеся газы. А. [Вольта](#) в 1776 пришёл к выводу о существовании зависимости между количеством разлагающейся биомассы и количеством выделяемого газа. В 1808 сэр Г. [Дэви](#) обнаружил метан в биогазе. Первая биогазовая установка была построена в Бомбее в 1859. В 1895 биогаз применялся в Великобритании для уличного освещения. В 1930, с развитием микробиологии, были обнаружены бактерии, участвующие в процессе производства биогаза. В СССР исследования проводились в 1940-х гг.; в 1948–54 была разработана и построена первая лабораторная установка. Наблюдается устойчивая тенденция использовать биогаз для решения самых разнообразных энергетических вопросов: отопления жилья, получения электричества, производства надёжного автомобильного топлива. В то же время механизмы его производства постоянно совершенствуются, разрабатываются новые, более практичные и экономные способы получения качественного топлива.

Тенденции развития мирового рынка биотоплива

Движущими факторами для распространения биотоплива являются угрозы, связанные с энергетической безопасностью, изменением климата и экономическим спадом. Распространение производства биотоплива по всему миру нацелено на увеличение доли потребления экологически чистого топлива, особенно на транспорте; снижение зависимости от импортируемой нефти для многих стран; снижение выбросов парниковых газов; развитие экономики. Биотопливо является альтернативой традиционным видам топлива, получаемым из нефти. Мировыми центрами производства биотоплива в 2014 являются США, Бразилия и Европейский Союз. Самый распространённый вид биотоплива – биоэтанол, его доля составляет 82% всего производимого в мире топлива из биологического сырья. Ведущими его производителями являются США и Бразилия. На 2-м месте находится биодизель. В Европейском Союзе сосредоточено 49% производства биодизеля. В долгосрочной перспективе постоянно растущий спрос на биотопливо со стороны наземного, воздушного и морского транспорта может сильно изменить сложившуюся ситуацию на мировом рынке энергоносителей. Использование сельскохозяйственного сырья для производства жидкого биотоплива и рост объёмов его производства обусловили спрос на сельскохозяйственную продукцию, что повлияло на цены продовольственных культур, используемых при производстве биотоплива. Объём производства биотоплива второго поколения продолжает расти, и к 2017 мировое производство биотоплива второго поколения должно составить 10 млрд. литров. Мировое производство биотоплива к 2017 должно увеличиться на 25% и составить ок. 140 млрд. литров. В Европейском Союзе основная часть производства биотоплива приходится на биодизель, производимый из семян масличных культур (рапса). По прогнозам, в странах Евросоюза будет расширяться производство биоэтанола из пшеницы и кукурузы, а также сахарной свёклы. В Бразилии, как ожидается, производство биоэтанола будет продолжать расти ускоренными темпами и достигнет к 2017 примерно 41 млрд. литров. В целом производство биоэтанола и биодизеля, согласно прогнозу, к 2017 будет возрастать быстрыми темпами и составит 125 и 25 млрд. литров соответственно. Начался быстрый рост производства биотоплива в Азии. По данным на 2014, Китай находится на третьем месте по производству биоэтанола, и ожидается, что это производство будет расти в течение следующих десяти лет более чем на 4% в год. В Индии производство биоэтанола из мелассы, согласно прогнозам, будет увеличиваться более чем на 7% в год. При этом расширяется

производство биодизеля из новых культур, таких как ятрофа.

По прогнозам Мирового энергетического агентства (МЭА), нехватка нефти в 2025 будет оцениваться в 14%. По данным МЭА, если даже общий объём производства биотоплива (в том числе биоэтанола и биодизеля) к 2021 составит 220 млрд. литров, то его производство покрывает лишь 7% мировой потребности в топливе. Темпы роста производства биотоплива намного отстают от темпов роста потребности в них. Происходит это из-за наличия дешёвого сырья и недостаточного финансирования. Массовое коммерческое использование биотоплива будет определяться достижением ценового равновесия с традиционными видами топлива, получаемыми из нефти. По прогнозам учёных, доля возобновляемых источников энергии к 2040 достигнет 47,7%, а биомассы – 23,8%.

При существующем уровне развития технологий производство биотоплива будет составлять небольшую часть глобальных поставок энергии, цены на энергию будут оказывать влияние на стоимость сельскохозяйственного сырья. Биотопливо может по-разному воздействовать на продовольственную безопасность – рост цен на сырьевые товары, обусловленный производством биотоплива, может нанести ущерб импортёрам продовольствия, с другой стороны, стимулировать внутреннее сельскохозяйственное производство мелкими фермерскими хозяйствами.

Литература

Лит.: *Егорова Т. А.* Основы биотехнологии. М., 2003; *Овсянко А. Д.* Справочник. Котельные и электростанции на биотопливе. М., 2008; *Russell J.* Биотопливо / Пер. с англ. М., 2012; *Зуева О., Калайда М., Чичиров А.* Биотопливо и бионанотехнологии. М., 2014; *Сидорович В.* Мировая энергетическая революция: как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. М., 2015.