

## Перспективы применения биотоплив и интенсификация получения сырья для их производства

А. В. Назаров, Ю. Н. Киташов, А. М. Ильинец  
РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

*Рассмотрено состояние производства биотоплив в России и мире, а также проблемы, препятствующие успешному развитию этого направления. Описаны инновационные отечественные разработки — технология обменных резонансных взаимодействий (ОРВ) и кавитационная технология, применение которых позволяет существенно снизить затраты на производство биотоплив, что делает их более конкурентоспособными на топливном рынке.*

**Ключевые слова:** биотопливо, энергоэффективность, обменные резонансные взаимодействия (ОРВ), кавитация.

Возобновляемые источники энергии в отдаленной перспективе займут основную долю в энергообеспечении населения Земли. Биотоплива, являющиеся переходной ступенью на пути к водородной энергетике, возможно, уже в ближайшее время будут широко использоваться вместо традиционных углеводородных топлив. Мировой экономический кризис отчасти затормозил процесс развития биотопливного направления благодаря низким ценам на нефтяное сырье. Вместе с тем, события, связанные с перебоями поставок российского газа в Европу, способствовали поиску альтернативных источников энергии, сравнительно независимых от рыночных и политических рисков по причине использования местного сырья. Согласно недавнему решению правительства Украины, намечены инвентаризация источников биотоплив и создание льготных условий для их производства. По Директиве ЕС доля возобновляемых источников сырья в производстве моторных топлив будет повышаться с 8% в 2010 г. до более 10% в 2020 г., а к 2030 г. до 12%; процентное содержание биодобавок в моторном топливе к 31 декабря 2010 года увеличится до 5,75% [1]. По данным экспертов, в 2007 году мировые инвестиции в технологии получения энергии из возобновляемых источников составили более 60 млрд. долл., причем значительные средства в разработку процессов производства биотоплив вкладывают крупные компании энергетического сектора: BP, Shell, Total и др.

Помимо твердых биотоплив (дрова, пеллеты), наибольшее распространение в настоящее время получили биогаз, биоэтанол и биодизель.

Биогаз получают анаэробным брожением биомассы в ферментаторах (метантенках) при температуре 34–37°C в течение 20–40 суток. Он содержит метан (55–75%), углекислый газ

(25–45%) и незначительное количество примесей ( $H_2$  и  $H_2S$ ). Выход биогаза значительно зависит от состава сырья и изменяется от 60 м<sup>3</sup>/т при переработке навоза крупного рогатого скота до 500 м<sup>3</sup>/т в случае использования свежей травы и 1300 м<sup>3</sup>/т при переработке жиров. Биогаз используется для получения тепловой или электрической энергии, а после дополнительной очистки может применяться либо непосредственно в качестве автомобильного топлива, либо для получения диметилового эфира, используемого в дизелях.

Производство биогаза широко распространено в европейских странах и в Азии. В Китае, преимущественно в сельских районах, эксплуатируются более 18 млн. установок различной мощности. В Дании биогаз составляет до 18% энергопотребления страны. В Западной Европе не менее половины всех птицеферм отапливаются биогазом.

Производство биогаза позволяет решить проблему утилизации биомассы и снизить неконтролируемые выбросы метана в атмосферу, тем самым уменьшая парниковый эффект. Источником биогаза могут являться также свалки мусора с большим содержанием органических отходов. В этом случае говорят о получении «свалочного газа».

Производство биогаза в России на текущий момент развито слабо, хотя к этому направлению энергетики предьявляется определенный интерес. Так, на Курьяновских очистных сооружениях впервые в Москве введена в эксплуатацию мини-ТЭС мощностью 10 МВт, использующая в качестве топлива биогаз.

Биотехнологические способы получения другого газообразного биотоплива — водорода — основаны на переработке биомассы с помощью водородообразующих микроорганизмов или производстве водорода определенными

видами водорослей при недостатке в воде серы и кислорода. Такие технологии на сегодняшний день характеризуются низкой энергоэффективностью и находятся на стадии разработки. Термохимический метод переработки биомассы, например пиролиз древесных отходов, позволяет при 500–800°C без доступа кислорода получить смесь водорода, метана и оксида углерода.

Начало применения жидких биотоплив в двигателях внутреннего сгорания можно отнести к концу 19 века, когда растительное масло и этиловый спирт стали использовать в первых конструкциях двигателей Дизеля и Отто. В тот период цены на углеводородные топлива и биотоплива были сопоставимы. Их конкуренция продолжалась с переменным успехом вплоть до XXI века, причем кризисы и войны повышали интерес к биотопливам.

В качестве топлив или их компонентов часто используют метиловый, этиловый и в последнее время бутиловый спирты. Наибольшую долю в производстве топлив занимает этиловый спирт, технология получения которого хорошо отработаны. Сырьем синтеза биоэтанола являются чаще всего растения, содержащие значительное количество сахаров, крахмала или целлюлозы. Сахар и крахмал перерабатывают в этанол брожением, а целлюлозу — при гидролизе биомассы.

В последнее время в Европе наметилась тенденция использования для получения биоэтанола вторичного сырья — бумажных, древесных отходов, пластика и т.п. В этом случае речь идет о биотопливах второго поколения.

Что касается метанола, то его высокая токсичность и склонность к образованию паровых пробок делают перспективы его использования в качестве топлива или добавки к автомобильным бензинам сомнительными.

Уже сейчас производство биобутанола по современным технологиям дешевле и проще процессов получения биоэтанола. По физико-химическим свойствам бутанол наиболее близок к бензину и может успешно использоваться как октаноповышающая добавка в больших концентрациях либо в чистом виде без необходимости изменения конструкции двигателя. Сырье и технология получения биобутанола и биоэтанола примерно одинаковы. Российская корпорация «Биотехнологии» считает перспективным производство биобутанола 2-го поколения из возобновляемых непищевых источников сырья — опилок, соломы и торфа. Первая в мире опытная партия этого топлива была выпущена на Тулунском гидролизном заводе в Иркутской области.

Мировыми лидерами производства биоэтанола являются Бразилия и США, причем темпы роста биоэтанольного направления в США значительно выше, чем в других странах. В этой стране законодательством предусмотрено довести производство биоэтанола до 227 млрд. литров к 2030 г. В Бразилии в настоящее время более 40% автотранспорта используют спирт в качестве топлива, а стоимость тонны этанола сопоставима со стоимостью нефти. В Евросоюзе значительное увеличение объемов производства биоэтанола наблюдается в Испании, Франции, Германии и Италии. Из бывших советских республик это энергетическое направление активно развивается в Украине и Казахстане.

В России имеются огромные резервы для производства биоэтанола — 20 млн. гектаров свободной пашни, около 700 млн. тонн ежегодно образующихся твердых бытовых отходов и отходов животноводства, значительный объем лесозаготовок. Помимо этого, имеется более 40 гидролизных заводов, построенных в советский период. Основным препятствием для развития биоэтанольного направления является отечественное законодательство в области производства спиртосодержащей продукции. В соответствии с ФЗ «О государственном регулировании производства и оборота спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции» бензин, содержащий более 1,5% спирта, является спиртосодержащей продукцией, что влечет за собой обязательность лицензирования его производства и оборота. Согласно НК РФ, этиловый спирт, в том числе денатурированный, облагается акцизом, что делает его введение в состав моторных топлив экономически неоправданным. В то же время, в техническом регламенте, утвержденном Правительством РФ в феврале 2008 г. «О требованиях к бензинам, дизельному топливу и отдельным горюче-смазочным материалам» оговорено использование биоэтанола в количестве до 5% объема топлива. Бензин со спиртовой добавкой с учетом акциза будет значительно дороже базового бензина, а без акциза — дешевле на 1–2 руб. Очевидно, что существующая законодательная база в области производства и применения биоэтанола требует пересмотра, поскольку она не позволяет в полной мере получить положительный эффект от развития промышленности и сельского хозяйства, а также от создания новых рабочих мест в дотационных регионах.

Указанная проблема ведет к поиску альтернативных путей применения биоэтанола с ориентацией на экспорт или использования его

в качестве сырья для получения синтетического бензина и водородсодержащего газа для топливных элементов [2]. Выход синтетического бензина составляет около 30%, он не содержит серы, в его составе преобладают ароматические углеводороды (около 90% об.). Октановое число такого бензина по исследовательскому методу составляет почти 100 ед., но из-за высокого содержания ароматических углеводородов он может использоваться только в качестве компонента автобензинов или как сырье для нефтехимии.

В то же время, в апреле 2008 г. крупнейшие компании в области разработки новых технологий получения биотоплив (Amyris — США) и распределения этанола (Crystalsev — Бразилия) объявили о совместной программе выпуска биотоплива нового поколения из сахарного тростника, которое может использоваться как в карбюраторных, так и в дизельных и реактивных двигателях [3]. Синтез нового вида топлива основан на ферментативных процессах. Процесс можно вести на существующих установках по получению этанола после проведения небольшой краткосрочной малозатратной модификации. По утверждению разработчиков, новое биотопливо полностью совместимо с существующими двигателями и топливной инфраструктурой, а по качеству превышает традиционные нефтяные топлива.

Особое место в ряду биотоплив занимает диметиловый эфир (ДМЭ), который используется в дизельных двигателях. Он может быть получен из метана, угля и метанола. ДМЭ сжигается при небольшом давлении, имеет высокое цетановое число (более 55), не содержит серы и ароматических углеводородов и вследствие этого соответствует современным экологическим требованиям. Для использования данного топлива возможно применение оборудования, которое необходимо для эксплуатации автомобилей на пропан-бутановой смеси. При работе дизельных двигателей на ДМЭ практически отсутствует дымность, а содержание  $\text{NO}_x$  в дымовых газах снижается в 3–4 раза. Отрицательными качествами ДМЭ являются недостаточно высокие смазывающие и герметизирующие свойства.

Другим видом биотоплив, применяемым в дизелях, является топливо, получаемое переэтерификацией масел или жиров метиловым, этиловым или изопропиловым спиртами при атмосферном давлении и температуре 60°C в присутствии гидроксидов калия или натрия. После проведения переэтерификации эфиры очищают от избытка спирта и примесей. Био-

дизельные топлива на основе масел с большим содержанием полиненасыщенных жирных кислот, прежде всего линолевой и линоленовой, отличаются недостаточной химической стабильностью, что является одной из главных проблем их использования. Однако топлива на основе рапсового масла относительно устойчивы к окислению и полимеризации, в связи с чем, а также благодаря хорошей урожайности рапса в условиях Европы, он занимает основное место среди масличных культур, предназначенных для получения биодизельных топлив в этом регионе. Лидером в области производства и потребления биодизельных топлив в Европе является Германия, на долю которой приходится более половины от общего объема выпуска этих топлив.

В тропических странах с жарким климатом большое распространение получило пальмовое масло, которое имеет высокую температуру застывания, поэтому применяется только в смеси с другими компонентами.

В последнее время активно ведутся работы по использованию определенных культур водорослей для получения технических масел [4]. В естественных условиях такие водоросли хорошо растут в районах Гавайи, Калифорнии, Нью-Мексико и др. Однако их можно культивировать и в средней климатической зоне в специальных прудах, используя избыточное тепло предприятий, например электростанций. Если выход масла из рапса составляет в среднем 1200 л/га, то из водорослей — 95000 л/га. Использование водорослей вместо традиционных масличных культур, наряду с их высокой продуктивностью, имеет еще одно преимущество, о котором часто забывают. Площади, занятые под сырье для получения биотоплив, подвержены биodeградации, т.к. рапс, подсолнечник, кукуруза выносят из почвы значительное количество питательных веществ, поэтому плодородие необходимо поддерживать внесением повышенных доз удобрений. Очевидно, что водоросли лишены этого недостатка. Из биомассы водорослей, помимо масел, можно получать биогаз и этанол. В процессе жизнедеятельности водоросли используют углекислый газ, что дает возможность проводить очистку биогаза или дымовых газов тепловых электростанций. Недостатком получаемых из водорослей масел является значительное содержание полиненасыщенных жирных кислот и, как следствие, их невысокая химическая стабильность.

Несмотря на достоинства производства и применения биотоплив: возобновляемое сырье, хорошую биоразлагаемость, высокие цета-

новое число биодизеля и антидетонационные свойства спиртов, повышенную смазывающую способность, меньшую токсичность выхлопа, эксплуатация двигателей на таких топливах сопряжена с рядом проблем. Среди них основными являются пониженная теплота сгорания и достаточно высокая коррозионная активность спиртов, вредное воздействие на пластики и резины, расслоение бензино-спиртовых топлив при низких температурах в случае обводненности. Для биодизельных топлив чрезвычайно важными являются проблемы низкой химической и термоокислительной стабильности, а иногда недостаточные низкотемпературные свойства.

По вышеуказанным причинам наиболее вероятно применение биотоплив в виде добавок к топливам на нефтяной основе. Если применение спиртовых топлив в чистом виде требует изменения конструкции двигателей и топливной системы автомобилей, то добавка до 5% спиртов повышает октановое число бензинов и не вызывает существенных проблем в эксплуатации. Тот же подход применяют к биодизельным компонентам, которые можно добавлять в дизельные топлива в количествах до 20%, что позволяет существенно улучшить смазывающие свойства и цетановое число дизельных топлив с ультранизким содержанием серы. Подобное топливо марки B2 допущено в США для использования в двигателях любых грузовых дизельных автомобилей [5].

Следует полагать, что после выхода из кризиса цены на нефть начнут возрастать, хотя маловероятно, что в обозримом будущем они достигнут уровня лета 2008 года. В этих условиях производство биотоплив в странах с умеренным климатом будет сильно зависеть от рентабельности выращивания сырья и самих процессов получения биотоплива. Следует также учитывать, что биотопливное и пищевое направление использования сельскохозяйственной продукции часто конкурируют между собой, что и явилось одной из причин роста цен на продовольствие в 2008 г.

В России доля возобновляемых источников энергии не превышает 1%. Энергетической стратегией России поставлена цель повысить долю возобновляемых источников энергии до 3–5% к 2015 году. Подготовлен ряд законов, стимулирующих производство и применение топлив, в частности выпуск бензинов, содержащих не более 10% биоэтанола из-за юрисдикции ФЗ «О государственном регулировании производства и оборота спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции». На ближайшее время

запланирована реализация более 30 проектов по строительству биотопливных предприятий. Введен в эксплуатацию Казанский маслоэкстракционный завод мощностью 300 тыс. тонн продукции в год. Намечено строительство крупных предприятий по производству биоэтанола в Омской, Липецкой, Волгоградской областях, на Алтае, в Краснодарском крае и Татарстане. Биотоплива могут быть наиболее востребованы в отдаленных сельских районах или мегаполисах с неблагоприятной экологической ситуацией.

Среди проблем, которые следует решить для успешного развития биотопливного направления, можно выделить следующие:

- Необходимость значительного повышения урожайности сельскохозяйственных культур, которые при переработке дают высокий выход биотоплив, а также поиск новых культур, например маслосодержащих водорослей;
- Стимулирование производства и применения биотоплив на государственном уровне;
- Создание современной системы сбора и переработки бытового мусора, отходов промышленного и сельскохозяйственного производства;
- Повышение рентабельности процессов переработки растительного сырья;
- Адаптация биотоплив к современным двигателям за счет усовершенствования технологий их производства или введения соответствующих присадок. Возможно также изменение конструкции двигателей для работы на биотопливах. При этом желательно, чтобы двигатели могли использовать как традиционные виды топлив, так и биотоплива.

Решения указанных проблем следует искать в области инновационных технологий, позволяющих интенсифицировать как рост биомассы в далеких от оптимальных климатических условиях, так и процессы ее переработки при производстве биотоплив. Например, на современном этапе развития биотехнологии важное значение приобретает интенсификация процесса метанового брожения со снижением капитальных и эксплуатационных затрат. Необходимо увеличение скорости переработки и связанное с этим уменьшение объема реактора получения биогаза, что позволит обеспечить необходимый экономический эффект раньше, чем произойдет уменьшение затрат на комплектующее оборудование, входящее в состав биоэнергетической установки или сокращение его номенклатуры в связи с упрощением установок.

К числу наиболее перспективных энергоресурсосберегающих технологий можно



отнести технологию обменных резонансных взаимодействий (ОРВ), сущность которой заключается в воздействии на объект слабым электромагнитным излучением в режиме резонанса. При этом в качестве генератора электромагнитных волн выступает сам объект. Авторам удалось создать резонатор на основе лент Мебиуса, способный принимать и передавать в пространство электромагнитные волны любой фазы и частоты, что является заметным преимуществом перед классическим резонатором, настроенным на определенную волну. Резонатор открывает возможность направленной интенсификации физико-химических и биологических процессов за счет автоколебательного воздействия на участвующие в процессе атомы и молекулы.

Была разработана малогабаритная мобильная установка, позволяющая в полевых и лабораторных условиях проводить работы по ускорению прорастания семян, роста растений, интенсивному размножению микроорганизмов и дождевых червей, а также интенсификации процессов ферментации, дистилляции и ряда химических реакций. В собранном виде установка легко транспортируется в салоне легкового автомобиля. Ее энергопотребление не превышает 0,5 кВт.

Проведенные с использованием ОРВ-технологии эксперименты показали ускоренное прорастание семян различных сельскохозяйственных культур с усиленным развитием корневой системы. За 50 дней объем корневой системы кукурузы опытных растений, выращенных в лабораторных условиях при воздействии ОРВ, в 10 раз превосходил контрольные образцы. Сроки созревания подсолнечника и кукурузы в полевых условиях сократилось на 14 дней. Урожайность сахарной свеклы в полевых условиях возросла до 30%.

В лабораторных условиях была продемонстрирована интенсификация жизнедеятельности микроорганизмов. Как следствие этого, при

воздействии ОРВ количество дождевых червей за 75 дней увеличилось более чем в 40 раз. При проведении опыта в полевых условиях среднее количество дождевых червей на 1 м<sup>2</sup> возросло в три раза по сравнению с контрольным полем. Причиной этого является интенсивное размножение микроорганизмов, являющихся кормом для дождевых червей.

Следует отметить, что ОРВ-технология позволяет обеспечивать долговременное повышение плодородия почв без применения минеральных удобрений за счет накопления биогумуса, поскольку черви способствуют переводу основных питательных веществ в легкоусвояемую растениями форму.

Таким образом, рентабельность получения биомассы при использовании ОРВ значительно возрастает как за счет снижения затрат на обработку почвы, так и за счет роста урожайности культур.

В процессе испытаний, проведенных в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина отмечено влияние ОРВ на скорость перегонки жидкостей, которая увеличивалась на 15–20%. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Полученные результаты дают возможность интенсификации производства биотоплив, т.к. в процессе их получения широко используется дистилляция.

Наряду с ОРВ, заметный экономический эффект при производстве биодизельных топлив можно получить с помощью кавитационных технологий. Это направление сейчас активно развивают некоторые российские и украинские компании. Применение компактных передвижных кавитационных модулей позволяет в 5–7 раз снизить энергоемкость процесса, в 8–10 раз сократить время получения готового продукта по сравнению с традиционным реакторным способом этерификации. Кроме того, кавитация может успешно использоваться при подготовке сырья процесса ферментации, поскольку в результате кавитационной обработки происходит интенсив-

**Влияние ОРВ на скорость перегонки жидкостей**

Объем перегнанного вещества, мл	Время перегонки вещества, мин.	
	Без ОРВ	Под действием ОРВ
Ундекан		
50	14,2	12,1
100	26,7	22,2
140	39,3	33,5
Изопропанол		
50	15,0	12,9
100	29,5	25,4
140	43,7	37,3

ный разрыв клеточных оболочек и активизация последующих процессов.

Таким образом, использование инновационных технологий позволяет при низких затратах значительно увеличить объем сырья для полу-

чения биотоплив, а также интенсифицировать некоторые технологические процессы их производства: ферментацию при получении спиртов и биогаза, а также дистилляцию спиртов и жирных кислот.

### Литература

1. Крылов И. Ф., Емельянов В. Е. Альтернативные моторные топлива. Производство, применение, перспективы // Мир нефтепродуктов. — 2008. — №3. — С. 44–47.
2. Третьяков В. Ф., Лермонтов А. С. и др. Синтез моторных топлив из биоэтанола // Химия и технология топлив и масел. — 2008. — №6. — С. 30–34.
3. Бразильский биодизель: сделано из сахара // OILMARKET. — 2008. — №4. — С. 80–83.
4. Росс М. Ю., Стребков Д. С. Биодизельное топливо из водорослей. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. — 252 с.
5. Joest M. US alternative transportation fuels industry // Oil and Gas Journal. — 2000. — V. 98. — P. 64–75.

A. V. Nazarov, Yu. N. Kitashev, A. M. Ilinets

#### Aspects of Biofuel Application and Intensification of their Feed Production

*The article is concerned with the current state of biofuel production in the Russian Federation and in the world.*

*The problems, which prevent successful development of this branch are also conceded. The technologies of exchange resonance interactions and cavitation are described. Employment of technologies involved will cause a significant decrease of expenditure for biofuels production, which will make them more competitive at fuel market.*

**Keywords:** biofuel, energy efficiency, exchange resonance interactions, cavitation.

---

### Вниманию специалистов!

С. В. Дейнеко

#### ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В лабораторном практикуме рассматриваются модели расчета надежности технологических элементов газонефтепроводов. Представлены основные этапы построения моделей и этапы компьютерного моделирования для решения задач оценки надежности.

Приводятся описание и примеры использования методов компьютерного моделирования для решения инженерных задач надежности в среде Excel.

Построение моделей объектов проводится на основе реальных статистических данных.

Лабораторный практикум предназначен для студентов, магистрантов и аспирантов специальности 130501 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» и для инженерно-технического персонала, связанного с оценкой эксплуатационной надежности газонефтепроводов.

**М.: Издательство «Техника», 2007. — 80 с.**

В. А. Казарян

#### ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГАЗОВЫХ КОНДЕНСАТОВ

В книге рассмотрены методы исследования и конструкции приборов для измерения плотности, вязкости и теплопроводности газов и жидкостей в широком диапазоне давлений и температур. Приводится обширный справочный материал по теплофизическим свойствам индивидуальных углеводородов, газовых конденсатов и их фракций.

Книга интересна инженерно-техническим работникам научно-исследовательских институтов и проектных организаций нефтегазовой отрасли.

**М.: Издательство «Техника», 2002. — 448 с.**