

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МОТОРНЫЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТА

УДК 662.767+662.769.21+665.58

Альтернативные моторные топлива: мировые тенденции и выбор для России

О. Б. Брагинский

ОЛЕГ БОРИСОВИЧ БРАГИНСКИЙ — доктор экономических наук, профессор, заведующий лабораторией стратегии развития отраслевых комплексов Центрального экономико-математического института РАН, профессор кафедры международного нефтегазового бизнеса Российской государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина, академик Международной академии организационных наук, автор более 250 научных работ. Область научных интересов: экономические проблемы энергетики.

117418 Москва, Нахимовский проспект, 47, ЦЭМИ РАН, тел. (499)724-25-69, факс (499)718-96-15, E-mail braginsk@cemi.rssi.ru

Необходимость разработки и применения альтернативных топлив, в том числе из возобновляемых видов сырья, вызвана рядом взаимосвязанных причин:

- подорожанием нефти и грядущим истощением запасов, прежде всего запасов ныне разрабатываемых месторождений;
- ухудшением экологической обстановки во многих странах;
- глобальной проблемой потепления климата из-за усиливающегося «парникового эффекта», вызванного эмиссией диоксида углерода в процессе сжигания углеводородов.

В современном нефтегазовом комплексе наметились тенденции, вызывающие серьезные опасения. Цены на нефть постоянно растут. Нарастание запасов нефти происходит за счет месторождений, отличающихся сложными геолого-экономическими условиями и удаленностью от мест потребления. Многие страны-потребители нефти привязаны к поставкам нефти из стран-членов ОПЕК, большинство из которых принадлежит к «горячим» точкам планеты. Все это вызывает рост издержек на добычу и транспортировку нефти, порождает риски поставок. Да и макроэкономическая ситуация в мире складывается таким образом, что вряд ли в ближайшее время следует ожидать падения нефтяных цен.

Положение с запасами природного газа более благоприятное, особенно в России, но многие сравнительно недавно открытые крупные месторождения труднодоступны и расположены далеко от мест интенсивного потребления (такие месторождения называют «запертыми») и необходима монетизация таких месторождений, т.е. поиск путей придания им реальной, а не только потенциальной ценности.

Между тем, спрос на энергоносители в мире будет расти. По прогнозам одной из крупнейших мировых нефтегазовых компаний British Petroleum прирост спроса на энергоресурсы к 2030 г. составит 50% (по отношению к уровню мирового спроса в 2005 г.).

Во многих странах мира резко возросли требования к качеству топлив с точки зрения их экологической безопасности. Высококачественные топлива получают либо путем совершенствования процессов переработки нефти, либо путем перехода на другие виды сырья, в том числе на возобновляемые.

Одной из серьезных проблем стало требование уменьшения выбросов парниковых газов, прежде всего, диоксида углерода. Разрабатываются различные методы его улавливания и секвестирования, а также технологии, способствующие уменьшению выбросов диоксида углерода.

Перечисленные выше особенности и тенденции развития мирового нефтегазового комплекса и складывающаяся ситуация в мире породили интерес и способствовали поиску новых видов энергии и альтернативных топлив. К ним следует отнести использование солнечной энергии, энергии ветра, приливов и отливов, геотермальных вод, возобновляемых видов сырья, а также водорода и топливных элементов.

В данной статье более подробно будут рассмотрены только альтернативные моторные топлива (АМТ).

Альтернативные моторные топлива по видам можно классифицировать следующим образом: газомоторные топлива (сжиженный природный газ, сжатый природный газ, сжиженные нефтяные газы – пропан, бутан); спирты и бензоспиртовые смеси (метилловый, этиловый, изобутиловый и др. спирты и их смеси с автобензином в различных пропорциях); эфиры (метилтретбутиловый эфир (МТБЭ), метилтретамилловый эфир (МТАЭ), этил-

третбутиловый эфир (ЭТБЭ), диизопропиловый эфир (ДИПЭ), а также диметиловый эфир (ДМЭ); синтетические жидкие топлива (СЖТ), получаемые из природного газа и угля; биотоплива (биоэтанол, биодизель), получаемые из возобновляемых видов сырья; водород и топливные элементы, работающие на водороде.

Альтернативные моторные топлива по группам можно классифицировать следующим образом: синтетические топлива; нефтяные топлива с добавками спиртов или эфиров; нефтяные топлива (сжиженный и сжатый природный газ, сжиженные пропан-бутаны, диметиловый эфир, водород). Для применения АМТ первой группы не требуется никакой переделки двигателя и изменения инфраструктуры топливопотребления. Для АМТ второй группы требуется небольшое изменение инфраструктуры топливопотребления. Для АМТ третьей группы требуется переделка двигателя, установка баллона на борту транспортного средства и значительная переделка системы топливообеспечения.

Широкое распространение в мире получили газомоторные топлива, особенно сжиженные пропан и бутан, сжиженный природный газ (СПГ), сжатый (компримированный) природный газ. При их использовании необходима установка газового баллона на транспортное средство, редуктора давления газа и регулятора его расхода в соответствии с режимом работы двигателя. Необходимо также создание специальной инфраструктуры топливообеспечения (транспортировка, хранение, распределение топлива). Газомоторное топливо несколько менее эффективно по показателю объемного энергосодержания и создает некоторые проблемы с запуском двигателя в холодное время года, но при его использовании существенно (в 1,5—2,0 раза) сокращается содержание вредных веществ в выхлопных газах, улучшаются условия эксплуатации двигателя.

Лучшие экологические характеристики стали причиной активного продвижения газобаллонных автомобилей и газомоторных топлив на рынки многих стран. Весьма эффективно использование газомоторных топлив для муниципального транспорта в городах, особенно в мегаполисах. Правительства многих стран поддерживают распространение газомоторных топлив и вводят ряд льгот при производстве и эксплуатации газобаллонных автомобилей, устанавливая цену газомоторных топлив ниже цены автобензина.

В ряде стран получили распространение бензоспиртовые топлива, например, смеси автобензина с метанолом, этанолом. Иногда (авто и мотогонки) используется чистый метанол. Но в основном используют смеси, содержащие 5—15% спиртов и 85—95% автобензина. Основное преимущество бензометанольных топлив — уменьшение содержания оксидов азота, оксида углерода и других вредных веществ в выхлопных газах автомобилей.

Для смешения в качестве спиртов используются продукты, полученные синтетическим путем при переработке углеводородного сырья, а также из возобнов-

ляемых видов сырья. Спиртовые топлива имеют более низкую энергоплотность по сравнению с нефтяными моторными топливами, такие топлива образуют водно-спиртовые смеси, приводящие к расслаиванию топлива, спиртовые добавки отрицательно воздействуют на пластмассовые и резиновые детали двигателя. В настоящее время наибольший интерес вызывают спиртовые добавки, полученные из возобновляемых видов сырья (биотоплива), о чем будет сказано ниже.

Распространение получили также оксигенатные топлива, т.е. смеси автобензина с различными эфирами. Наиболее распространенной добавкой является метилтретбутиловый эфир (МТБЭ). В США с целью улучшения экологической ситуации в мегаполисах и в штате Калифорния стал выпускаться специальный вид бензина (реформулированный бензин), содержащий добавки 5—15% МТБЭ. В период с 1992 г. по 2001 г. потребление МТБЭ в США возросло с 4,0 до 10,5 млн т.

Однако потом было обнаружено, что МТБЭ является ядовитым веществом, которое разлагается с выделением метанола, и его попадание в грунтовые воды может серьезно усложнить обеспечение населения водой. В США после долгих споров с нефтепереработчиками, создавшими большие мощности по производству МТБЭ в инфраструктуре нефтеперерабатывающих заводов, законодатели утвердили систему постепенного отказа от МТБЭ и замены его биоэтанолом. В других странах (страны ЕС, азиатские страны, а также Россия) использование МТБЭ как компонента автобензина еще не запрещено. Вместо МТБЭ в ряде стран стали использовать ЭТБЭ (этилтретбутиловый эфир).

Особое место занимает диметиловый эфир (ДМЭ), получаемый из природного газа либо совместно с метанолом, либо из метанола. Этот простейший эфир является великолепным дизельным топливом. Уже сейчас муниципальный автобусный парк во многих городах Дании и Швеции переведен на ДМЭ. Правительство г. Москвы приняло решение о переводе части городского автопарка, использующего дизельное топливо, на ДМЭ. Однако это решение не реализовано. По своим свойствам ДМЭ близок к сжиженному пропан-бутану, поэтому ранее созданная инфраструктура для пропан-бутана может быть использована при применении ДМЭ взамен дизельного топлива. Достоинством ДМЭ является высокое цетановое число, недостатком — необходимость переоборудования транспортного средства и дополнительные затраты на создание особой инфраструктуры топливопотребления, что связано с высокой летучестью и токсичностью ДМЭ (этот эфир оказывает угнетающее действие на нервную систему).

Большой интерес проявляется к ДМЭ в странах Азии, прежде всего в Китае, где его используют в качестве бытового баллонного газа, взамен дизельного топлива и как топливо для электростанций. В Китае основным сырьем для производства ДМЭ является уголь.

Постепенно растущее распространение получают синтетические жидкие топлива (СЖТ). Начало их про-

изводства было положено в Германии в 30-е годы прошлого века, а технология была разработана в середине 20-х годов немецкими химиками Ф. Фишером и Х. Тропшем. В послевоенные годы производство СЖТ по немецкой технологии было освоено в ЮАР. Основным сырьем для производства СЖТ был уголь. В 1985 г. компанией Mobil в Новой Зеландии была пущена установка по производству СЖТ из природного газа. Технологическая схема включала в качестве промежуточной стадии производство метанола. Однако эта технология оказалась малоэффективной. В 1991 г. в ЮАР начала работать установка по производству СЖТ из природного газа. В 1993 г. компания Shell ввела в эксплуатацию установку по производству СЖТ в Малайзии. В 2007 г. были проведены первые испытания крупной установки по производству СЖТ в Катаре.

Сравнительный анализ энергетических и эксплуатационных характеристик альтернативных моторных топлив выполнен в [1, 2]. По оценке авторов наиболее приемлемыми видами АМТ являются синтетические жидкие топлива (СЖТ), диметиловый эфир, оксигенаты, добавляемые к традиционным нефтяным моторным топливам. Эти виды топлива имеют вполне приемлемые энергетические и эксплуатационные показатели, их применение практически полностью вписывается в существующую инфраструктуру топливопотребления (системы хранения, транспортировки, заправки, моторостроения) и не требует дополнительных вложений в эту инфраструктуру. Небольших изменений потребует использование ДМЭ взамен дизельного топлива, но при этом частично может быть использована инфраструктура, уже созданная для сжиженных пропана и бутана.

Использование компримированного природного газа ограничено необходимостью оснащения автомобиля дорогостоящими баллонами высокого давления (металлическими или металлопластиковыми), которые создают дополнительный балластный вес автомобиля, также требуется некоторая переделка двигателя.

Использование сжиженного природного газа (СПГ) по энергетическим характеристикам не уступает ни традиционным моторным топливам, ни СЖТ. Вполне благоприятны экологические характеристики этого вида топлива. Многие страны мира, как уже отмечалось, применяют СПГ, особенно для муниципальных видов транспорта, правительства стран стимулируют производство и применение СПГ на транспорте. Большое внимание уделяет проблеме использования сжиженного газа как АМТ ОАО «Газпром». Специалисты газового концерна предложили не только применять СПГ для нужд муниципального транспорта, но и разработали проект «Голубой коридор» — оборудование автогазонаполнительными компрессорными станциями автомагистрали Москва—Минск—Брест—Варшава—Берлин с последующим продолжением до крупнейших европейских городов. Сдерживает широкое применение СПГ необходимость использования криогенных емкостей, а также тот факт, что его хранение не может быть долговременным.

Использование сжиженного пропана и бутана имеет уже достаточно продолжительную историю, но применение сжиженных углеводородных газов на автотранспорте сокращается из-за роста цен на эти газы (практически пропорционально с ценами на нефть), ограниченности ресурсов, возможности более эффективно использовать их для нужд нефтехимии и для коммунально-бытовых нужд населения.

Использование добавок метанола к бензинам по всей вероятности будет ограничено из-за высокой токсичности метанола.

Большое будущее имеют топливные элементы — устройства, вырабатывающие электрическую энергию за счет окислительно-восстановительных химических реакций жидких или газообразных компонентов, непрерывно поступающих к электродам извне. Эти устройства являются химическими источниками тока непрерывного действия. В качестве основного компонента для реакции служит, как правило, водород. Преимущества топливных элементов — высокий КПД (80% по сравнению с 35% для двигателя внутреннего сгорания), экологичность (на выхлопе автомобиля — только водяной пар), неограниченная сырьевая база. Но пока топливные элементы дорогие: автомобиль, имеющий на борту бак для водорода и топливные элементы, стоит более чем на порядок дороже, чем автомобиль с двигателем внутреннего сгорания. Водород и топливные элементы — дело будущего, а пока в ведущих индустриально развитых странах реализуются национальные программы по развитию водородной энергетики и топливных элементов.

Остановимся более подробно на вопросах производства и использования альтернативных моторных топлив на основе природного газа, которые считаются экспертами наиболее приемлемыми в ближайшей и более отдаленной перспективе.

Технологии GTL

Технологии по производству СЖТ получили название технологий GTL (gas to liquid, газ в жидкость). Разработкой таких технологий занимаются крупнейшие нефтегазовые компании (Exxon Mobil, Shell, British Petroleum, Chevron-Texaco, Sasol, Conoco Phillips, Statoil) и технологические компании (Syntroleum, Rentech). Продукция технологий GTL — прямогонные бензины (нафта), содержащие в основном углеводороды парафинового ряда; дизельное топливо, которое практически не содержит серы, имеет в своем составе незначительную примесь ароматики и обладает высоким цетановым числом (70 против 45—50 у нефтяного дизельного топлива); высокомолекулярные парафины и церезины — основа высококачественных масел и смазок.

Детальный анализ известных технологий получения синтетических жидких топлив по методу Фишера—Тропша сделан в [3]. Автором отмечено, что успешная коммерциализация получения СЖТ на основе синтеза Фишера—Тропша возможна; в отношении этого процесса проводится активная инновационная политика;

процесс позволяет наряду с СЖТ и высокомолекулярными парафинами получать также и химические продукты, в частности, альфа-олефины. Для технологий производства СЖТ важным моментом является эффект масштаба, что в частности, дает преимущество компаниям Shell и Sasol, имеющим опыт промышленной эксплуатации достаточно крупных установок; возможна также организация небольших установок для переработки в СЖТ газовых ресурсов малых и средних месторождений, месторождений низконапорного газа.

В настоящее время в разной степени готовности (объявлены, ведется проектирование, осуществляется строительство) имеется пара десятков проектов по реализации технологий GTL. Технологии GTL капиталоемкие, но весьма чувствительны к «эффекту масштаба» и техническим нововведениям, поэтому в основе проектов заложены новейшие технологические разработки и крупные единичные мощности, благодаря чему капиталоемкость технологий GTL может быть заметно снижена (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость удельных капиталовложений от мощности завода по производству СЖТ [1]

Мощность, тыс. т/год	Удельные капвложения, долл./т
500	900
1000	700
1500	600
2500	500
5000	440
7500	400

О непрерывной инновационной составляющей в деле разработки технологий производства СЖТ свидетельствуют условно усредненные автором данные об удельных капитальных вложениях (долл./т) по технологиям различных поколений: 1200 для действующих установок; 800 для модернизируемых действующих установок; 600 для технологий второго поколения и 400—500 — желательный уровень для технологий третьего поколения [1].

Каждая из компаний, работавших в области получения СЖТ, считает свою технологию лучшей. Из-за различных методик расчета технико-экономических показателей, разных условий, в которых предполагалась реализация проекта (реконструкция, использование имеющейся инфраструктуры, новое строительство), сопоставление технико-экономических показателей технологий затруднено. Инженерная компания Reutheon Engineering and Construction Inc. (Хьюстон, США) выполнила сравнение технико-экономических показателей технологий GTL, разработанных различными компаниями, в сопоставимых условиях. В табл. 2 использованы исходные данные компаний. Расчеты выполнены для условий региона Ближнего Востока и цены природного газа — 18 долл./тыс.куб.м [4].

Кроме сопоставления технико-экономических показателей, еще одним методом сравнения технологий является определение энергетического КПД, измеряемого количеством затраченной энергии (в БТЕ — британских тепловых единицах) на баррель получаемых жидких продуктов. Для технологии Conoco энергетический КПД — 8,3 млн БТЕ/барр; Sasol-Chevron — 8,5; Exxon — 9,3, а Shell приводит значение КПД 9,8 млн БТЕ/барр. [5].

Основными продуктами, получаемыми по технологии GTL, являются сжиженные газы, нефтя (фракции прямогонного бензина), дизельное топливо, специальные продукты (высокомолекулярные парафины).

Таблица 2

Сравнительный экономический анализ различных вариантов технологий GTL [4]

Показатели	Варианты технологий										
	Exxon Mobil		Shell		Sasol		Syntroleum		Rentech		Conoco
	А*	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	
Суммарные капиталовложения, млн долл.	нет данных				1039	1095	1258	1302	1268	1324	1720
Суммарная выручка, млн долл.	нет данных				264	367	205	294	295	398	386
Внутренняя норма рентабельности, %	14,3	18,2	13,2	16,9	16,7	21,3	10,7	15,0	15,4	19,4	17,3
Чистый приведенный доход, млн долл.	361	755	293	686	442	839	52	400	426	823	нет данных
Суммарная мощность по производству СЖТ, тыс.т/год	нет данных				2500	2500	2000	2000	2750	2750	3600
Удельные капиталовложения, долл./т	480	500	520	540	408	430	630	643	465	480	478

* Вариант А — без производства синтетических смазок; Б — с производством синтетических смазок

Нафта (легкие бензиновые фракции) имеет благоприятный фракционный состав, не содержит ароматических углеводородов и серы. Указанные свойства позволяют ее использовать как высококачественное нефтехимическое сырье при производстве этилена и пропилена.

Дизельное топливо по технологии GTL имеет высокое цетановое число (60—70), практически не содержит серы и имеет очень низкое содержание ароматических углеводородов. Учитывая тот факт, что нефтепереработчикам для удаления серы из дизельного топлива приходится тратить миллионы долларов, дизельное топливо по технологии GTL можно использовать для компаундирования с обычным нефтяным дизельным топливом, снижая затраты и обеспечивая повышенные экологические характеристики топлива.

Дизельное топливо, как продукт технологий GTL, представляет наибольший интерес для потребителей, т.к. в перспективе намечаются высокие темпы роста спроса на дизельное топливо как в мире в целом (1350 млн т/год), так и на европейском и азиатском рынках. По оценке экспертов консалтинговой компании Chem System спрос на дизельное топливо с различным содержанием серы на европейском и азиатском рынках будет расти (табл. 3).

Кроме дизельного топлива, наиболее востребованного продукта, по технологии GTL получают и другие продукты (смазки, воски и нафта), которые представляют интерес для потребителей. Высокомолекулярные парафины, церезины, воски находят применение для получения синтетических масел, смазок, присадок, поверхностно-активных веществ, химико-фармацевтической продукции. Наиболее привлекательный рынок — это рынок смазок; мировой спрос на высококачественные смазки вырастет в период до 2020 г. на 15%, что вынуждает строить мощности по производству смазок.

Тяжелые парафины, производимые по технологии GTL, не содержат серы; они высоковязкие; имеют низ-

кие показатели розлива и летучести и являются лучшим базовым сырьем для производства смазок по сравнению с продуктами нефтепереработки. Однако вследствие относительно малой емкости рынка смазок даже одна установка GTL мирового класса (50000—100000 барр./сут, или 2,5—5,0 млн т СЖТ, в т.ч. 15000—30000 барр./сут (0,75—1,5 млн т) консистентных смазок) сможет обеспечить значительную долю мировых потребностей, что следует учитывать при выборе схемы производства СЖТ путем конверсии высокопарафинистых соединений в дизельное топливо и нафту. Нафта широко применяется в нефтехимической промышленности.

Среди наиболее реальных проектов установок по производству СЖТ по технологии Фишера—Тропша следует упомянуть следующие [7]. Это проект консорциума компаний Sasol и Chevron в содружестве с национальной нефтегазовой компанией Катара Qatar Petroleum Corp. под названием Oguh. Установка мощностью 1,7 млн т/год и стоимостью почти 950 млн долл. введена в эксплуатацию в промышленной зоне Рас-Лаффан в Катаре в мае 2007 г., а на полную мощность ее планировали вывести в мае 2008 г. Расход газа, добываемого из гигантского (самого крупного в мире) газового месторождения North field (Северное) составляет 3,1 млрд м³/год.

В стадии строительства находится завод по производству СЖТ в той же промышленной зоне Рас-Лаффан в Катаре. Проект под названием Pearl реализует консорциум компаний Shell и Qatar Petroleum Corp. Мощность завода — 7 млн т/год (две линии по 3,5 млн т/год). Пуск завода намечен на 2009 г.

В этой же промышленной зоне консорциум компаний Exxon Mobil Corp. и Qatar Petroleum Corp. намечает построить завод мощностью 7,7 млн т/год. Проект под названием Palm прошел стадию предварительного технико-экономического обоснования. Здесь же консорци-

Таблица 3

Прогноз спроса на дизельное топливо на европейском и азиатском рынках [6]

Показатели	Спрос на дизельное топливо с содержанием S, млн т			Итого, млн т
	>1000 ppm	50—1000 ppm	< 50 ppm	
Европейский рынок				
2000 г.	100	150	0	250
2005 г.	—	110	150	260
2010 г.	—	100	170	270
2015 г.	—	90	190	280
Азиатский рынок				
2000 г.	130	110	—	240
2005 г.	200	70	50	320
2010 г.	200	90	110	400
2015 г.	—	350	150	500

ум компаний Conoco-Phillips и Marathon-Petro-Canada собираются построить крупный завод по производству СЖТ. Этот проект также базируется на ресурсах газа месторождения Северное. Из перечисленного видно, что небольшое ближневосточное государство Катар сделало ставку на добычу и переработку газа в СЖТ и сжижение газа.

В стадии окончания инжиниринговых работ и начала строительства находится проект консорциума компаний Chevron и Nigeria National Petroleum Co. в Нигерии. Проект создания установки мощностью 1,7 млн т/год, объявленный в 2005 г., находится в стадии строительства и должен быть завершен в 2010 г. В планах консорциума дальнейшее расширение завода до 6 млн т/год.

Относительно небольшая установка строится в Тринидаде и Тобаго (г. Пойнт-а-Пьер). Проект под названием World GTL Petropin, несмотря на громкое название, имеет мощность всего 112,5 тыс. т/год. Это связано с тем, что на заводе собираются установить реактор с закрывшегося метанольного завода в шт. Дэлавер (США) и установку гидрокрекинга из Гватемалы. Стоимость завода тем не менее 100 млн долл., срок окончания проекта, начатого в 2007 г., намечен на конец 2008 г.

Кроме вышеназванных имеются проекты создания заводов по производству СЖТ различной мощности в Австралии, Египте, Таиланде, Папуа-Новой Гвинее и ряде других стран.

Эксперты достаточно оптимистично оценивают возможности развития индустрии СЖТ (табл. 4) [7]. Однако, если учесть действующее производство СЖТ и прирост по вероятному варианту в период 2006—2010 гг. и 2011—2015 гг., то окажется, что доля СЖТ, полученного на базе природного газа, в 2010 г. составит 0,4% от мирового спроса на дизельное топливо, в 2015 г. — 0,5%. Безусловно, продукция установок, работающих по реакции Фишера—Тропша, позволит в смысле конкуренции с нефтяными дизельными топливами решать не глобальные, а отдельные региональные проблемы обеспечения горючим для транспортных средств. Более четко прослеживается возможность компаундирования СЖТ с установок GTL (практически не содержащих серы и имеющих невысокое содержание ароматики) с традиционной продукцией НПЗ для получения топлив, отвечающих жестким требованиям экологической безопасности.

Компания Syntroleum, специализирующаяся на про-

цессах производства СЖТ, объявила об успешном окончании работ опытной установки, которая за период 2003—2006 гг. провела цикл исследований процесса Фишера—Тропша, наработала 12 тыс. т высококачественного дизельного и реактивного топлива, а 19 сентября 2006 г. совместно с ВВС США провела полет бомбардировщика В-52 на смеси реактивного нефтяного топлива и СЖТ [8].

Будущий успех проектов СЖТ зависит от следующих факторов.

Объем, качество и цена исходного природного газа. Проекты должны базироваться на запасах крупнейших газовых месторождений. Минимально допустимый уровень запасов газа для обеспечения завода мощностью 2—4 млн т/год должен составлять 112—224 млрд м³ (при условии функционирования завода в течение 25 лет). Желательно, чтобы природный газ имел высокое содержание конденсата и низкое содержание азота для большей эффективности переработки.

Наличие в месте строительства объектов инфраструктуры для производства сжиженного природного газа (объекты энерго-, водо-, теплообеспечения) и квалифицированной рабочей силы, что делает выбранный район размещения завода выгодным.

Возможность расширения масштабов производства, обусловленная емкостью рынков сбыта продукции.

Наличие солидных партнеров, в частности, крупнейших транснациональных нефтегазовых компаний и национальных нефтяных компаний стран-владельцев ресурсов.

Поддержка правительством страны, где реализуется проект. В частности, как уже отмечалось, правительство Катара сделало ставку на переработку собственных газовых ресурсов для производства СПГ и СЖТ, поэтому активно поддерживает проекты, создает благоприятные налоговые условия, что привлекает инвесторов.

Как известно, первоначально производство СЖТ было организовано на базе угля. В настоящее время интерес к углю, как источнику сырья для производства СЖТ и ценных химических продуктов усилился. Ресурсов угля много, они расположены в странах, где более всего ожидается рост спроса на энергию, в т.ч. на моторные топлива.

Особенно большой интерес к углю, как сырью для производства моторных топлив, проявляется в Китае [7—10]. Эксперты американской компании Nexant Chem System утверждают, что в Китае в ближайшее время будут построены 4 установки типа СТО (coal to olefins). Эти проекты будут реализованы в 2008—2010 гг. Другие проекты такого типа получают разрешение на реализацию, если опыт эксплуатации этих предприятий будет удачным. Перспективным для Китая считаются также проекты типа СЛ (coal to liquid), аналогичные проектам GTL, но с ориентацией на угольное сырье. По оценке экспертов расход угля на производство 1 т СЖТ составляет

Таблица 4

Прогноз прироста производства СЖТ из природного газа в мире, млн т

Варианты	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.
Максимальный	1,0	3,0	5,0	5,5	7,0
Минимальный	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Вероятный	1,0	2,5	4,5	5,0	6,0

3,6 т, а удельные капитальные вложения — 1700 долл./т. По масштабам реализации проекты типа CTL значительно превзойдут проекты типа GTL. В частности, по вероятному варианту прогноза в период 2008—2010 гг. суммарный ввод установок CTL может составить 10 млн т/год, 2011—2015 гг. — еще 15 млн т/год, 2016—2020 гг. — 30 млн т/год, 2021—2025 гг. — 25 млн т/год, 2026—2030 гг. — 35 млн т/год, а всего уровень мощностей по производству СЖТ из угля с учетом действующих производств составит в 2010 г. 15 млн т/год, 2015 г. — 30 млн т/год, т.е. соответственно 1,0% и 2% от суммарного спроса на дизельное топливо и в 2030 г. достигнет 6% [7].

Большой интерес в Китае проявляется также к получению ДМЭ из угля [11]. Первые промышленные установки по производству ДМЭ из угля были построены в Китае в 2003 г. К 2007 г. их мощность выросла до 400 тыс. т/год. Китайская компания Шенхуа — лидер по производству ДМЭ в мире — имеет в своем составе самую крупную из известных установок — 210 тыс. т/год, строит установку в Шанхае (200 тыс. т/год) и планирует строительство установки в провинции Внутренняя Монголия мощностью 3 млн т/год. В Китае предполагают использовать ДМЭ как дизельное топливо и как сжиженные углеводородные газы для коммунально-бытовых целей. Япония имеет даже больший опыт, чем Китай, в разработке технологий производства ДМЭ.

Процессы разработки ДМЭ из природного газа реализованы японской компанией НКК, датской Haldor Topsøe, американской Air Products and Chemicals Inc., британской BP. Сравнение показало, что технология получения ДМЭ непосредственно из синтез-газа является более многообещающей по сравнению с технологией через метанол. Сырьем для получения синтез-газа могут быть как природный газ, так и уголь.

Кроме Японии, где построено несколько опытных установок по производству ДМЭ и строится промышленная установка, и упомянутого ранее Китая интерес к производству ДМЭ, как заменителю дизтоплива, коммунально-бытового газа и энергетического топлива, проявляют также Иран, Тринидад и Тобаго, Оман, Нигерия, Катар, Египет, т.е. страны, обладающие запасами природного газа. Ставятся вопросы о международной стандартизации ДМЭ и топливной аппаратуры для его использования.

Биотоплива

Широкое распространение в ряде стран получило производство и использование биотоплив, производимых из возобновляемых видов сырья. Преимуществами биотоплив являются: использование возобновляемых видов сырья; возможность получить экологически более чистое топливо (снижение вредных выбросов почти в 2 раза по сравнению с традиционными нефтяными топливами); уменьшение зависимости от импорта дорожающей нефти. Биотоплива отличаются хорошими эксплуатационными характеристиками; их использование в смеси с традиционными топливами практически не требует изменений в инфраструктуре топливопотребления.

Возникновение проблемы производства и использования биотоплива обусловлено следующими движущими силами:

— возможность дальнейшего развития сельскохозяйственного производства;

— обретение странами, зависящими от поставок нефти и газа, энергетической безопасности.

Особенностью проблемы производства и потребления биотоплив является то, что она обусловлена не потребителями и не экономикой, а социальными и политическими мотивами, среди которых так называемый «ресурсный национализм» стран-обладателей значительных ресурсов нефти и газа, с одной стороны, и стремление к энергетической независимости стран, являющихся импортерами углеводородов. В отличие от ряда других проблем мирового развития, проблема биопродуктов имеет широкую политическую поддержку, а не «рыночное проталкивание». Движущие силы и проблемы биотоплив меняются в зависимости от страны, что является важным аспектом для понимания их воздействия на нефтяные топлива. Осуществляющаяся конвергенция сельскохозяйственной, углеводородной, биотехнологической и химической отраслей будет определять глобальное, но что более важно, специфическое для отдельных стран воздействие на рынки энергетических и химических продуктов.

Основными видами биотоплив являются биоэтанол (получается в основном из кукурузы в США, сахарного тростника в Бразилии, сахарной свеклы в странах ЕС) и биодизель (получается на основе масличных культур, таких как соя, рапс, клещевина, а также из пальмового масла и из отходов при производстве пищевых жиров).

Лидерами в производстве биоэтанола являются США (производство в 2006 г. 13,5 млн т), Бразилия (12,3 млн т), страны ЕС (2,2 млн т), Китай (2,7 млн т), Индия (1,4 млн т), Франция (1,1 млн т), Германия (1,1 млн т), Россия (1 млн т). Лидером в производстве биодизеля является Германия (1,7 млн т в 2006 г.). Биодизель производят Франция (0,5 млн т), Италия (0,4 млн т), Чехия (0,14 млн т), Польша (0,1 млн т), США (0,9 млн т) и ряд других стран. В стадии строительства находятся заводы по производству биодизеля в Великобритании, Нидерландах и Норвегии. Суммарное производство биоэтанола в мире в 2006 г. составило примерно 32 млн т, биодизеля — более 6 млн т [12].

Правительства ряда стран объявили амбициозные программы по производству и применению биотоплив. В частности, в США в 2006 г. к традиционным моторным топливам из нефти добавлялось 3,5% биотоплив, в 2010 г. эта доля должна составить 5,0%. В 2017 г. поставки биотоплив в США должны составить по программе, выдвинутой Белым Домом, 35 млрд галл., т.е.

примерно 100 млн т. Согласно одному из вариантов прогноза спроса на моторные топлива (автобензин и дизтопливо) в 2030 г. в США спрос составит 635 млн т, значит, доля биотоплив должна достигнуть более 15%.

В странах ЕС доля биотоплив в суммарном потреблении моторных топлив с 2% в 2006 г. должна возрасти до 5,75% в 2010 г.

В Китае, Индии, Малайзии и ряде других стран приняты национальные программы производства и использования биотоплив. Бразилия претендует на роль мирового лидера в производстве биоэтанола, для чего готова увеличить в несколько раз площади по выращиванию сахарного тростника. В Бразилии доля биотоплив в суммарном потреблении топлив должна составить 5% в 2013 г.

Правительства практически всех упомянутых стран разрабатывают организационно-экономические механизмы по стимулированию производства и использования биотоплив.

К основным недостаткам биотоплив (кроме технических — более низкое теплосодержание по сравнению с бензином, более высокое давление насыщенных паров) следует отнести высокую стоимость сырья и ограниченность некоторых его видов. Учитывая то обстоятельство, что доля затрат на сырье в производстве биотоплив составляет 70—80% суммарных издержек, при современных ценах на зерно, сахарный тростник, сахарную свеклу, рапс, сою, пальмовое масло производство практически всех видов биотоплив имеет цены производства эквивалента 1 л нефтяного топлива, более высокие, чем цены на традиционные автобензин и дизельное топливо из нефтяного сырья.

В частности, в США цены на автобензин в 2007 г. были на уровне 39 ц/л, биоэтанол — 66 ц/л, поэтому 1 л смесового бензина (с 10% биоэтанола) стоил с учетом смешения почти на 18% дороже.

Ряд специалистов скептически оценивают возможности достижения намечаемых нормативов потребления биотоплив, в частности, в США. Они считают, что для этого придется на 70% увеличить объемы производства кукурузы, заняв для этого часть площадей, выделенных под пшеницу, а также резко увеличить объемы подаваемой для полива воды, что серьезно нарушит возможности обеспечения водой населения и других сфер потребления [13—15].

Уже сейчас выяснилось, что реализация зерна и других сельскохозяйственных продуктов для нужд индустрии биотоплив вызвала рост цен на продовольственные товары, что сформировало новую мировую проблему «энергия против продовольствия». Биотоплива занимают пограничное, промежуточное положение между аграрным и энергетическим секторами экономики. Продовольственный аспект индустрии биотоплив является для многих стран спорным и в определенной степени негативным, приведет к росту цен на все виды продовольствия. Изъятие продукции, предназначенной для кормового сектора, снизит эффективность животновод-

ства и птицеводства, а следовательно, подорожает продукция мясной и молочной промышленности.

Некоторое ожидаемое снижение цен на топливо благодаря присутствию в нем биопродукции не снизит себестоимость, а повлечет за собой рост сырьевой составляющей, что скажется на положении не только бедных стран, но и развитых стран с высокой долей самообеспеченности продовольственными товарами. Все эти опасения полностью оправдались в 2006—2008 гг. Использование продовольственного сырья для получения биотоплив является нецивилизованным и антигуманным образом действий, которые поддерживают ряд правительств и аграрное лобби в парламентах, а осуществляют бизнесмены аграрного сектора, пользуясь ростом цен на горючее. В итоге производство биотоплив из продовольственного сырья может стать фактором, дестабилизирующим мировую продовольственную систему.

В США широко развернута программа производства биотоплив под знаком уменьшения зависимости от импорта энергоносителей и вредного влияния на климат, в основе имеет желание агропроизводителей сбывать генномодифицированные сельскохозяйственные продукты.

То, что биотопливо не может составить конкуренцию топливу на основе углеводородов, понимают все, но тем не менее движение за биотопливо стало стержнем в политике ряда развитых стран.

Кроме влияния на ситуацию с продовольствием следует отметить другие негативные моменты. В частности, для производства пальмового масла — сырья для биодизеля — приходится разбивать плантации пальм, сводя тропические леса с их уникальной экосистемой.

Весьма спорным является вопрос об экологической чистоте биотоплива. Хотя надо признать, что добавка 10% биотоплив к традиционным моторным топливам уменьшает содержание вредных веществ в выхлопах автомобилей на 30% [16].

Несмотря на значительный прогресс в использовании биомассы для получения жидких топлив, правда заключается в том, что промышленность до сих пор не знает как конвертировать биомассу в топливо в крупных масштабах с приемлемыми затратами для потребителей и без серьезных социальных последствий, связанных с подорожанием продовольствия.

Эксперты считают, что только биотоплива второго поколения, основанные на непродовольственных видах сырья, более сложных процессах превращения, технически возможные, экономически оправданные, доступные и жизнеспособные, могут диверсифицировать энергетический портфель мира [17].

Учитывая это обстоятельство, во многих странах мира развернуты исследования и разработки в области технологий получения биотоплив второго поколения, а именно, из биомассы (целлюлоза, отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности, сельскохозяйственные отходы, водоросли, лигнин и т.п.) [18, 19, 20—24].

Среди технологий второго поколения называют пирогенетическую переработку древесины [20]; анаэробные процессы [22]; весьма перспективный процесс BTL (biomasse to liquide), состоящий из стадий спекания биомассы посредством низкокислородного пиролиза, газификации полученных методом спекания гранул, каталитического синтеза по Фишеру—Тропшу [18], а также получение биоэтанола из биомассы древесины путем ферментации или гидролиза с последующим дегидрированием биоэтанола в биобутанол [18] и др.

Заключение

Каковы же выводы при решении проблемы альтернативных видов топлив для России?

Автор считает своим долгом напомнить уже высказанное рядом экспертов мнение, что проблема выбора альтернативных топлив имеет не только глобальный, но и региональный характер и должна решаться при максимальном учете специфических условий каждой отдельной страны.

Россия обладает самыми большими запасами природного газа и является одной из крупнейших газовых держав мира. Развитие производства альтернативных моторных топлив целесообразно базировать на переработке природного и попутных нефтяных газов. Производство синтетических жидких топлив по технологии GTL позволит решить сразу несколько задач: наладить выпуск экологически чистых синтетических топлив; интегрировать синтетические топлива в инфраструктуру НПЗ путем компаундирования их с традиционными нефтяными топливами для улучшения экологических характеристик последних. Производство синтетических жидких топлив по технологии GTL может стать одним из способов монетизации труднодоступных газовых месторождений. Технология GTL может быть использована для утилизации попутного нефтяного газа, значительные количества которого сгорают на факелах, а также для утилизации низконапорного газа и природного газа небольших и, по сути дела, заброшенных месторождений. В последнем случае эффективным может оказаться использование малогабаритных установок.

В качестве моторного топлива могут использоваться сжиженный природный газ и диметиловый эфир. Особенно эффективно использование этих видов альтернативных топлив для автомобилей муниципальных служб, автобусов в крупных городских агломерациях. Правда, для этого потребуются создание специальной инфраструктуры топливообеспечения и переделка автомобиля. Тем не менее, у российского газового гиганта Газпрома имеются проекты создания автогазонаполнительных компрессорных станций и даже сети таких станций на международных трассах (проект «Голубой коридор»). Для диметилового эфира могут быть частично использованы объекты инфраструктуры топливопотребления, созданные для сжиженных пропана и бутана, а производство ДМЭ может быть налажено на действующих метанольных заводах. При этом, учитывая токсичность

ДМЭ, более целесообразным может оказаться дальнейшая переработка ДМЭ в бензин с последующей эксплуатацией полученного бензина в действующей инфраструктуре топливопотребления.

В России разработаны технологии производства СЖТ из природного газа [1]. В уже упомянутой работе [2] описана малостадийная технология производства СЖТ на установках низкого давления, которая отличается минимальным числом стадий, низким давлением процесса, возможностью использовать газовое сырье низконапорных и забалансовых месторождений, экологической чистотой процесса и получаемых СЖТ, которые могут использоваться при существующей инфраструктуре топливопотребления. Процесс обладает гибким регулированием мощности, возможностью кратного масштабирования и имеет экономические показатели, обеспечивающие конкурентоспособность получаемых СЖТ.

К установкам GTL малой и средней мощности проявляют интерес российские независимые газовые компании, эксплуатирующие небольшие месторождения, удаленные от газовых магистралей, либо испытывающие затруднения с поставками газа в магистральные трубопроводы Газпрома. Кроме того, независимым газовым компаниям, работающим в отдаленных местностях, зачастую приходится дорого платить за привозное дизельное топливо; в такой ситуации СЖТ малогабаритной установки может оказаться более выгодным.

Проблемой производства и использования СЖТ из природного газа непосредственно занялся российский газовый гигант ОАО «Газпром» [25]. Специалисты концерна считают, что индустрию GTL для производства СЖТ из природного газа следует осуществлять в три этапа.

Первый этап — так называемые «быстрые» проекты, т.е. проекты небольших (производительностью по газу не более 1 млрд м³/год) установок, которые должны продемонстрировать эффективность получения СЖТ, выгоду используемых технологий, и поставить на рынок первые партии продуктов для их испытаний и подготовить персонал для новых заводов.

Второй этап — среднесрочные проекты коммерческого типа (производительностью по газу 3—5 млрд м³/год) с целью решения региональных проблем обеспечения экологически чистыми моторными топливами.

Третий этап — крупные проекты (с производительностью по газу 10—12 млрд м³/год и выше) на месторождениях Ямала, Восточной Сибири, Арктического шельфа и др., т.е. создание крупномасштабной индустрии СЖТ.

Серьезные сомнения возникают при обсуждении перспектив производства и использования биотоплив в конкретных российских условиях. Практически все российские проекты производства биоэтанола и биодизеля базируются на продовольственном сырье. Такое сырьевое обеспечение биотоплив может нанести урон продовольственной безопасности страны, поскольку

отвлекает часть сельскохозяйственных продуктов от их прямого назначения для продовольственных целей. Кроме того, стоимостные показатели биотоплив уступают аналогичным показателям как для традиционных моторных топлив, так и для других видов альтернативных топлив, в частности, СЖТ.

Наша страна, к сожалению, не решила проблему продовольственной безопасности ни в советские времена, ни в нынешние. Почти половина продовольственных товаров представлена импортной продукцией. При этом импортными товарами являются не только оливковое масло, ананасы, морепродукты и прочие изыски, а мясо, молоко, картофель, овощи, фрукты и другие продовольственные товары, которые производятся в России и расширение их производства именно в России является главной задачей обеспечения продовольственной безопасности страны.

Аргументация при обосновании отечественных проектов производства биоэтанола и биодизеля из зерна, картофеля, масличных культур, сахарной свеклы, что будут заняты пустующие земли и возрастет количество посевных площадей, повысится занятость на селе, сельхозпроизводство получит устойчивый сбыт и т.п. целиком и полностью годятся для увеличения производства зерна, продукции мясного и молочного животноводства, птицеводства, роста производства овощей, фруктов, другой сельскохозяйственной продукции. Это позволит постепенно решать проблему продовольственной безопасности и за счет увеличения масштабов производства бороться с ростом цен на продовольствие.

Автор считает, что не стоит тратить время на дискуссии о целесообразности производства биотоплив из сырья продовольственного назначения, а сделать как китайцы, которые запретили производить у себя биоэтанол из зерна. Основные усилия научного сообщества следует направить на разработку и реализацию технологий производства биотоплив второго поколения.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект РГНФ № 08-02-00240а).

ЛИТЕРАТУРА

1. Брагинский О.Б. Нефтегазовый комплекс мира. М.: Нефть и газ, 2006, 590 с.
2. Каган Д.Н., Штильрайн Э.Э., Ланидус А.Л. Газохимия, 2008, июнь—июль, с. 50.
3. Хасин А.А. Там же, 2008, июнь—июль, с. 28.
4. Weeden S.L. Oil and Gas J., 2001, v. 99, № 11, p. 58.
5. Брагинский О.Б., Шлихтер Э.Б. Мировая нефтепереработка: экологическое измерение. М.: Academia, 2002, 261 с.
6. Oil and Gas J., 2005, v. 103, № 10, p. 18.
7. Rahmin J.J. Ibid., 2008, v. 106, № 12, p. 22.
8. Эйджи К. Нефтегазовые технологии, 2001, № 6, с. 69.
9. Там же, 2007, № 11, с. 82.
10. Satton M., Roberts P. Там же, 2007, № 11, с. 110.
11. Там же, 2007, № 6, с. 70.
12. Нефть и капитал, 2006, № 8, с. 43.
13. Романов С. Нефтегазовые технологии, 2008, № 4, с. 75.
14. Anthrop D.F. Oil and Gas J., 2007, v. 105, № 5, p. 25.
15. Kumins L. Ibid., 2007, v. 105, № 44, p. 18.
16. Ревенко Л.С. Бюлл. иностранной коммерческой инф., 2007, № 76(9172), с. 6; № 77(9173), с. 7.
17. Burke L. Нефтегазовые технологии, 2008, № 6, с. 61.
18. Carcone R. Нефтегазовые технологии, 2008, № 1, с. 84.
19. Новек К. Нефтегазовые технологии, 2007, № 6, с. 97.
20. Сердюк В., Ашкинази Л. Нефть России, 2007, № 12, с. 86.
21. Байбурский В., Шаповалов В. The Chemical Journal, 2007, № 8, с. 42.
22. Варфоломеев С. Химия и бизнес, 2007, № 5, с. 58.
23. Holmgren J., Gasling C., Marinangell G. Нефтегазовые технологии, 2008, № 1, с. 78.
24. Аблаев А.П. Мир нефтепродуктов, 2007, № 3, с. 2.
25. Самсонов Р. Oil and Gas Russia, 2008, январь—февраль, с. 74.

ABSTRACTS

Some tendencies in energy sector in the beginning of XXI century. V.S. Arutyunov. Ross. Khim. Zhurn. (Zhurn. Ross. Khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2008, v. 52, № 6.

The main changes in power generating sector are reviewed. For a long perspective the leading role of fossil fuels is stated. The main tendency is the increase of effectiveness of energy utilization and decrease of specific energy consumption in all sectors of economy. Simultaneously the diversification of energy sources at the expense of the more wide use of nontraditional and hard to develop sources is observed. The share of primary resources that undergoes deep chemical processing increases as well as a role of secondary sources of energy. A new phenomenon of integrated power, e.g. integration of power production and chemical processes, arises.

Global energetics and climate in XXI century in the framework of historical approach. V. V. Klimenko, A. G. Tereshin, O.V. Mikushina. Ross. Khim. Zhurn. (Zhurn. Ross. Khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2008, v. 52, № 6.

The paper concerns the perspectives of the world energy development and the forthcoming changes of atmosphere and climate under the influence of anthropogenic and natural factors. In the framework of the historical approach the forecast of the future world energy consumption for the present century is made, its resource base and the global consequences of the power sector influence on atmosphere and climate are studied. It is shown that the world energy consumption till the end of the century might stay in the limits of 26 bill tce and the global temperature should rise till 2100 by 1.5 degree with the growth rate not exceeding the adaptation limits of biosphere.