

СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ БЕЛЯЕВ

кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета ПетрГУ
sergbel@psu.karelia.ru

ГЕННАДИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ДАВЫДКОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры тяговых машин лесоинженерного факультета ПетрГУ
davydkov@psu.karelia.ru

ПРОГРЕСС И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНОГО ЭТАНОЛА НА ТРАНСПОРТЕ

В статье дается анализ применения топливного этанола в двигателях внутреннего сгорания автомобилей, отвечающих современным нормам токсичности. Одним из значимых направлений, позволяющих, с одной стороны, существенно сократить выбросы вредных веществ, а с другой – снизить потребление нефтяных топлив, является применение бензоспиртовых топлив.

Ключевые слова: топливный этанол, бензоспиртовые смеси, автомобильный транспорт, альтернативное топливо

Хорошо известно, что значительная часть мирового энергопотребления приходится на транспорт, прежде всего автомобильный. Мировой парк насчитывает более 800 миллионов автомобилей, на его долю приходится почти половина всех вредных выбросов в атмосферу, а в крупных городах – до 85–90 % [5], [11], [13]. Очевидно также, что решение многих проблем возможно только через развитие и внедрение энергосберегающих и экологически чистых транспортных технологий. Наиболее активно эти технологии развиваются и внедряются в странах, где запасы нефти и газа сильно ограничены, и в странах, где постоянно ужесточаются требования по охране окружающей среды, а национальная политика ориентирована на применение более экологически чистых моторных топлив (США, Япония, Европа). Производители транспортных средств поставлены перед необходимостью постоянно внедрять в эксплуатацию все более энергетически эффективные и экологически чистые способы приведения их в движение – например, использование альтернативных видов топлива,

к которым относятся спиртовые топлива, в частности топливный этанол.

Автомобили, способные работать как на бензине, так и на спиртобензиновых смесях, в США называют Flex-Fuel Vehicle, или FFV. В Бразилии такие автомобили называют гибридными.

ЭТАНОЛ КАК МОТОРНОЕ ТОПЛИВО

Спирты – это производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на функциональную группу – OH.

Этанол (этиловый спирт, метилкарбинол, винный спирт, гидроксид пентагидродикарбония, часто в просторечии просто «спирт» или «алкоголь») – C_2H_5OH или CH_3-CH_2-OH , второй представитель гомологического ряда одноатомных спиртов. Это легковоспламеняющаяся, бесцветная жидкость с характерным запахом, закипающая при температуре 78,3 °C. Основным источником получения этанола в настоящее время служит возобновляемое растительное сырье (сахарный тростник, сахарная свекла, картофель, кукуруза и др.).

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) с принудительным воспламенением могут работать на чистом спирте. Однако в настоящее время все большее развитие получают двигатели, работающие на бензоспиртовых смесях, в которые для предотвращения расслоения при хранении добавляют соответствующие присадки высоких спиртов [1], [2], [3], [5].

За рубежом товарное топливо, состоящее из смеси бензина и этанола, имеет буквенно-числовое обозначение: буква Е и число. Число обозначает процентное содержание этанола. Например, Е85 означает смесь из 85 % этанола и 15 % бензина.

Основные свойства этанола, бензоспиртовой смеси Е85 в сравнении с бензином приведены в таблице 1 [1], [6], [13].

Таблица 1
Сравнительные свойства бензина, этанола и Е85

Свойство	Этанол	Бензин (ОЧ 87)	E85
Химическая формула	C ₂ H ₅ OH	C ₄ -C ₁₂	—
Содержание, % по массе:			
С	52	85...88	57
Н	13	12...15	13
О	35	—	30
Октановый индекс (ОИ)	98...100	86...94	96
Цетановое число	8	12...14	10
Низшая теплота сгорания, кДж	26000	44000	—
Бензиновый эквивалент, галлон	1,5	1	1,4
Пробег на 1 галлон, %	70	100	72
Потребное увеличение объема бака к бензиновому	1,5	—	1,4
Пределы воспламенения смеси, % объемного содержания топлива при 20 °C	3...19	1...8	2...14
Температура воспламенения, °C	363...404	255...370	—
Плотность, кг/м ³ при 20 °C	789,3	720...770	—
Вероятность запуска двигателя при температурах ниже 0 °C	низкая	высокая	удовл.
Изменение мощности двигателя	+5 %	—	+3...5 %
Стехиометрический состав смеси	1:9	1:14,7	1:10
Скрытая теплота испарения, кДж/кг	840	330...350	—
Температура вспышки, °C	13	-27...39	—
Температура кипения, °C	78,4	—	—

Примечание. ОИ = (ОЧИ + ОЧМ)/2, где ОЧИ – октановое число, определенное исследовательским методом, ОЧМ – октановое число, определенное моторным методом.

При малом содержании в бензине спирта последний выполняет лишь функцию антидетонационной присадки, и его объемное содержание становится в зависимость от климатических условий эксплуатации, влияющих на пусковые характеристики двигателя, от степени решения проблемы расслоения смеси топлив, желаемой степени снижения токсичности отработавших газов. Кроме

того, бензоспиртовые смеси повышают экологические характеристики двигателей (см. табл. 2 и 3).

Таблица 2
Концентрация спирта для повышения октанового числа топлива (смесь спирт–бензин) на одну единицу ОЧ смеси, % по массе [2]

Спирт	Бензин ОЧ 70	Бензин ОЧ 92	Бензин ОЧ 66,7
Метанол	1,19	2,0	2,46
Этанол	1,07	1,44	1,64
Пропанол	1,25	2,0	2,14
Бутанол	2,00	5,29	4,11
Изобутанол	1,72	4,11	

Таблица 3
Сравнение бензоспиртовых смесей Е10 и Е85 с бензином по токсичности выбросов

Компоненты отработанных газов	Много меньше	Меньше	Однако	Больше	Много больше
CO	E10			E85	
SO ₂	E85	E10			
NOx			E10, E85		
Летучие компоненты		E85		E10	
CO ₂	E85	E10			

Сравнивая физико-химические свойства спиртовых и нефтяных моторных топлив, можно сделать некоторые общие заключения. Близкие значения массовой теплотворности смеси стехиометрического состава для рассмотренных видов топлив, несмотря на существенно более низкие значения теплоты сгорания спиртов по сравнению с бензином, указывают на то, что использование в качестве топлива спиртов не должно оказывать заметного влияния на мощностные показатели двигателей.

Вместе с тем наличие значительного количества кислорода в составе спиртов предопределяет заметное уменьшение теоретически необходимого количества воздуха для сжигания 1 кг спирта по сравнению с бензином, вследствие чего приспособление двигателей к работе на спиртах потребует внесения соответствующих изменений в топливоподающую систему и увеличенных емкостей для их хранения.

Высокая скрытая теплота испарения спиртовых топлив, особенно метанола, вызывает затруднения при холодном пуске двигателей.

Так, холодный пуск двигателей, работающих на спирте, затруднен уже при температуре ниже 10 °C при карбюраторном питании и ниже 5 °C при использовании систем впрыска. Проблема в известной степени решается добавлением в спиртовые топлива низкомолекулярных ароматических углеводородов или эфиров. Для устойчивости работы в режиме прогрева использование спирта требует более высокой энергии искрового разряда в свечах зажигания, чем использование бензина.

Низкая вязкость спиртов затрудняет смазку топливоподающей аппаратуры, а относительно высокая электропроводность совместно с высоким содержанием в спиртах кислорода вызывают необходимость решения проблем, связанных с коррозией и химическим разрушением материалов, контактирующих со спиртовым топливом [1], [2], [8], [9].

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ FFV

Основы технологии были созданы компанией FORD в 80-х годах прошлого века. Двухтопливные автомобили могли работать на смеси бензина и спирта в любой пропорции, используя одни и те же компоненты топливной системы (бак, топливопроводы, топливодозирующие элементы). Материалы, применяемые для элементов топливной системы, должны обладать повышенной устойчивостью к коррозии, так как этанол более коррозионно активен, чем бензин.

Как показала практика, спиртобензиновые топлива, содержащие до 15–20 % этанола, могут применяться в любом бензиновом ДВС. Смеси, содержащие более 20 % этанола, требуют внесения изменения в топливную систему и систему управления режимами работы двигателя.

К середине 1980-х годов был создан относительно дешевый и надежный датчик, позволяющий анализировать состав отработавших газов. К этому же времени развитие в области микроэлектроники позволило настолько удешевить производство микросхем, что на их основе стало возможно производство доступных для массового пользования блоков управления различными системами автомобиля (АБС, подушки безопасности, системы питания и зажигания). На основе датчика кислорода (лямбда зонда) и микропроцессорного блока управления режимами работы двигателя был разработан блок, анализирующий состав поступающей в цилиндры двигателя смеси и управляющий ее составом посредством изменения количества подаваемого топлива в зависимости от пропорции спирта и бензина в нем.

Основные отличия автомобиля FFV от бензинового незначительны:

- общие элементы топливной системы (топливный бак, топливопроводы, фильтрующие элементы), повышенная антикоррозионная стойкость применяемых материалов. Как правило, в качестве материалов применяются пластмассы или металлы, покрытые пластиковыми материалами;
- топливодозирующие элементы – форсунки, работающие на повышенном давлении и с большей пропускной способностью.

Следует отметить, что в крупнейших научных центрах продолжаются исследования по повышению эффективности применения бензоспиртовых смесей в современных и перспективных двигателях. Основные направления их развития приведены в табл. 4.

Таблица 4

Пути повышения эффективности двигателей, работающих на бензоспиртовых (спиртобензиновых) смесях [6], [7], [9], [13]

Преимущества этанола по сравнению с бензином	Технологии, позволяющие реализовать преимущества
Высокое октановое число	Турбонаддув высокого и низкого давления
Высокая скрытая теплота сгорания	Повышение степени сжатия более 14
Широкий диапазон пределов воспламенения смесей	Непосредственный впрыск; применение обедненных смесей; применение нейтрализаторов NOx

Хорошо известно положительное влияние степени сжатия на увеличение термического КПД и других характеристик двигателя. В табл. 5 показано влияние повышения степени сжатия ДВС, произведенных в Бразилии, на их технико-экономические характеристики [7], [10].

Таблица 5

Влияние степени сжатия на характеристики ДВС

Год выпуска	Степень сжатия	Мощность двигателя	Крутящий момент	Топливная экономичность
2003	10,1	+3 %	+2 %	-25...35 %
2006	12,5	+7 %	+5 %	-25...30 %
2008	13,5	+9 %	+7 %	-20...25 %

ПРИМЕНЕНИЕ ЭТАНОЛА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА И ПЕРЕХОД К ТЕХНОЛОГИИ FFV НА ПРИМЕРЕ БРАЗИЛИИ

Развитие спиртовых автомобилей в Бразилии началось во времена нефтяного кризиса 1970-х годов. Проектированию и производству автомобилей, работающих на спирте, способствовали субсидии правительства в рамках программы Proalcool. В рамках этой программы в штате Сан-Паулу весь парк бензиновых автомобилей перевели на спиртовое топливо [4], [8], [9], [13].

При этом возник ряд серьезных проблем, среди которых коррозия элементов топливной системы, плохая карбюризация и проблемы с пуском двигателя. С переходом от карбюраторов к впрыску топлива эти вопросы были сняты.

В 1970-е годы спирт добавлялся к бензину в процентном соотношении 20–25 %. Субсидии, представленные правительством, и высокие цены на нефть привели к тому, что стоимость литра спирта стала ниже, чем бензина. В результате в 1980-е годы 100 % автомобилей работали на спирте. В 1984 году 94,4 % проданных автомобилей были предназначены для работы на чистом спирте [4], [10].

В 1986 году цены на нефть упали. К этому времени более 20 миллиардов долларов были вложены в сотни заводов по производству спирта,

более 5 миллионов автомобилей потребляли этанол, была создана соответствующая инфраструктура. В 1989 году произошло сокращение производства спирта из-за нестабильности на мировом рынке сахарной продукции. Программе Proalcool был нанесен серьезный удар, и, хотя официально она не была закрыта, начиная с 1998 года субсидии на ее поддержку стали уменьшаться.

Надо отметить, что главные цели программы были достигнуты, так как с начала ее введения Бразилии удалось избежать импорта нефти на сумму более 20 миллиардов долларов в год. Сегодня Бразилия является крупнейшим производителем и экспортером этанола. Этanol составляет более 20 % от общего объема топлива, потребляемого в этой стране. Достигнутый прогресс, прежде всего, связан с тем, что бразильский этанол имеет самую низкую себестоимость в мире. С одного гектара плантаций сахарного тростника в Бразилии получают 4...6 тысяч литров этанола, а, например, в США кукурузный гектар дает всего около 2 тысяч литров [8], [9], [13]. Таким образом было доказано, что при государственной поддержке, регулировании и стимулировании рынка энергоносителей можно существенно уменьшить зависимость от импортируемой нефти.

Когда утверждалась программа Proalcool, критики указывали на ее негативное влияние на экологию и повышение стоимости побочных затрат в будущем. Среди прочих недостатков программы назывались: обострение проблем на рынке труда, загрязнение водных ресурсов, увеличение выбросов при традиционном сгорании отходов и обострение конкуренции с продуктами питания и сельского хозяйства. Многие из них были постепенно сняты за счет применения более современных технологий.

Переход к применению альтернативного топлива был в то время вызван стратегическими и экономическими факторами, поскольку в середине 1970-х годов еще не столь остро стоял вопрос уменьшения выбросов парниковых газов. Тем не менее это был один из первых серьезных шагов на пути использования возобновляемого топлива вместо ископаемого.

Этанол более экологичен, чем нефть. При его сгорании в двигателе выделяются меньше окислов углерода (CO), а при выращивании тростника происходит абсорбция CO₂, относящегося к парниковым газам [4], [5]. Опыт программы Proalcool показал, что в Сан-Паулу значительно сократилось загрязнение воздушного бассейна.

В 1994 году бразильский филиал компании Robert Bosch Group начал продвигать разработку и реализацию двигателей по технологии FFV в Бразилии, отказавшись от производства двигателей, работающих только на спиртовом топливе. Возможность применения и бензина, и спирта в двигателях открывала дополнительные возможности для потребителей, а производителям автомобилей не пришлось создавать два разных конвейера для выпуска спиртовых и бензиновых автомобилей.

На конец 2008 года в Бразилии автомобили FFV выпускали три основных производителя – Fiat, GM и Volkswagen. Уже в 2003 году эти компании представили авторынку страны 12 моделей автомобилей (23 версии), которые активно продавались. Только за первые 6 месяцев 2004 года в Бразилии было продано 119 925 автомобилей FFV. В июне продажа достигла 31 183 штук [4], [7], [10].

Как и ожидалось, автопроизводители прекратили производство автомобилей, работающих только на спирте, так как потребители стали предпочитать автомобили FFV, удовлетворяющие широким уровням эксплуатации. Автопроизводители, предвидя огромный потенциал роста продаж, делали большие инвестиции в технологии FFV.

Почти три десятилетия эксплуатации автомобилей на спиртовом топливе позволили поднять технологии FFV на высокий уровень. Автомобили FFV по эксплуатационным характеристикам сравнимы с бензиновыми и даже имеют лучшие результаты по ускорению и максимальной скорости, но меньший пробег на одну заправку (потребление спирта почти на 30 % больше, чем бензина).

БУДУЩЕЕ ТЕХНОЛОГИИ FFV

Переход к технологиям FFV в других странах, очевидно, потребует создания соответствующей инфраструктуры, внесения изменений в технологию производства на существующих заводах. Важно также отметить, что общие затраты при производстве двигателей FFV не сильно отличаются от производства обычных бензиновых двигателей и автомобилей. Так, уже сейчас большинство ведущих автопроизводителей, стремясь снизить массу автомобиля, широко используют пластмассы, в том числе и при изготовлении элементов топливной системы (баки, топливопроводы, топливная рампа).

Несмотря на широкие перспективы, дальнейшее наращивание производства FFV-автомобилей, без больших капитальных вложений и поддержки автомобильных компаний добиться положительных результатов невозможно.

Распространение технологии FFV будет зависеть от следующих факторов:

- развитие заправочных станций;
- заинтересованность существующих и новых производителей в выпуске автомобилей по данной технологии;
- снижение стоимости топливного этанола;
- ужесточение экологических стандартов для топлив и двигателей.

Сегодня правительства ряда стран (Китай, США, Южная Африка, Австралия, Швеция, Таиланд, Индия, Канада) стимулируют продвижение FFV-технологии за счет предоставления производителям субсидий и налоговых льгот. Это позволяет инновационным компаниям вместе с дистрибуторами топлива расширять использование этой технологии в мире.

В 2005 году в США более 5 млн автомобилей были оборудованы FFV-двигателями. В конце 2006 года в США эксплуатировалось 6 млн FFV-автомобилей. Общий мировой парк FFV к 2008 году составлял более 20 млн автомобилей [7], [13].

Неуклонно растет и сеть заправочных станций. Во всем мире в 2008 году насчитывалось более 36 000 заправок, предлагающих спиртосодержащее топливо. Из них более 1900 заправочных станций продают E85 в США (по данным на январь 2009 года). В целом в стране автомобильное топливо продают около 170 000 заправочных станций [7], [13]. Растет и количество бензоспиртовых заправок в Европе. Например, в Швеции их около 1200. В Бразилии около 39 000 заправочных станций продают этанол (конец 2008 года).

Опыт применения спиртов в Сан-Паулу и Рио-де-Жанейро показал, что возможно значительно улучшить состояние воздушной среды в мегаполисах. Развитие технологии FFV является одним из этапов перехода к экологически чистым транспортным технологиям на основе топливных элементов, которые пока находятся на начальной стадии коммерциализации. Переход к применению технологии FFV в других странах может существенно отличаться от бразильского опыта. Могут потребоваться большие усилия для их развития: дополнительные инвестиции в развитие заводов по производству относительно дешевых спиртов, строительство сети заправочных станций и обучение персонала, формирование общественного мнения и т. д.

В России для производства топливных спиртов имеется достаточно серьезная сырьевая, технологическая и промышленная база. В 2004 году введен в действие ГОСТ Р 52201-2004 на этаноловое моторное топливо (бензанолы). Уже пять нефтеперерабатывающих заводов отрасли провели все необходимые исследования и испытания для выпуска бензинов АИ-92, содержащих в своем составе 5 % этанола, и получили соответствующие разрешения Госстандарта России (допуск к производству и применению) [2], [3].

Развивая технологии FFV в России, можно одинаково успешно решить комплекс социально-экономических задач, среди которых:

- диверсификация энергоносителей;
- развитие сельского и лесного хозяйства;
- повышение занятости населения;
- оздоровление воздушного бассейна в крупных городах;
- дальнейшее увеличение экспорта нефти и газа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя, можно отметить основные факторы, стимулирующие распространение этанола в качестве топлива массового потребления:

- этанол – проверенное практикой топливо для мобильных транспортных средств, одобренное как в чистом виде, так и в качестве добавок к бензинам для повышения их экологических и антидetonационных свойств;
- производство этанола возможно из любого органического сырья, что в дальнейшем может привести к снижению его себестоимости;
- этанол содержит больше энергии, чем требуется для его производства;
- этанол – биоразлагающееся вещество, способное к разложению как в воде, так и в почве;
- производство этанола способствует развитию экономики и занятости населения в аграрно ориентированных районах;
- эффективное применение топливного этанола потребует значительного повышения уровня технического состояния средств хранения и транспортирования горючего, заправки техники.
- этанол повышает конкурентоспособность через развитие новых технологий. Использование в качестве сырья лигнинов и других органических отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной промышленности может в перспективе повысить энергетическую безопасность и значительно сократить выбросы парниковых газов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев С. В., Беляев В. В. Топлива для современных и перспективных автомобилей. Петрозаводск: Издво ПетрГУ, 2005. 236 с.
2. Макаров Б. В., Петрышкин А. А. и др. Спирты как добавки к бензинам // Автомобильная промышленность. 2005. № 8. С. 24–26.
3. «Современная АЗС». <http://www.sovazs.com>.
4. Russstar M. Sustainable Technology Chooses for Alternative Fuels. USAF XV // International symposium on Alcohol Fuels. September 2005. <http://www.epa.gov>.
5. Alternative Fuel in Brazil Flex-Fuel Vehicles. <http://www.cse.unc.edu>.
6. E85 as a vehicle Fuel. AEVI. <http://www.doe>.
7. Flexible-fuel vehicle. http://en.wikipedia.org/wiki/Flexible-fuel_vehicle.
8. Fuel Ethanol. Industry Guidelines, specifications and Procedures. December 2003. Renewable Fuels Association. <http://www.ethanolrfa.org>.
9. Launder K. From promise to purpose: opportunities and constraints for ethanol-based transportation fuels // MSU. DRD. 2001. P. 49.
10. McDonald Th. Alcohol fuel flexibility – progress and prospects // CEC-600-2005-308. September 2005. <http://www.epa.gov>.
11. Review of the EU Biofuel directive. <http://www.ebio.org>.
12. Swartz A. An Introduction to Fuel Ethanol // Briefing to the Sao Paulo Sugar Cane Agroindustry Union, Sao Paulo, Brasil, February 2005.
13. US Department of Energy, Energy Information Administration, Annual Survey of Alternative Fuel vehicle Suppliers and Users. <http://www.eia.doe.gov/fuelalternate.html>.