

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-45-56

УДК 656.13.065.3

ПОВЫШЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ СПИРТОВЫХ ТОПЛИВ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИХ СОСТАВЕ ОКСИДА ПРОПИЛЕНА

Мирошников Александр Михайлович¹,
д.т.н., профессор, alexandr_mirosh@mail.ru
Цыганков Дмитрий Владимирович²,
к.х.н., доцент, cygankov.d@inbox.ru
Полозова Алена Владимировна²,
магистрант, avbashtanova96@mail.ru

¹ООО«Химпром», 650021, Россия, г. Кемерово, ул. 1я Стахановская, 35

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация.

Рассмотрены преимущества и проблемы применения биоэтанольных топлив, в том числе стандартный бензин, содержащий до 5-15% спирта (E5-E15), среднеэтанольные топлива – от 20 до 40% спирта (E20, E30, E40) и высокоэтанольные топлива для специальных автомобилей – от 50 до 100% спирта (E85, E100, ED95). Обосновано, что максимальный эффект с точки зрения реализации потенциальных возможностей спирта способно дать только высокоэтанольное топливо типа E85. Такое топливо требует применения специальных конструкций автомобилей, которые получили название FFV (flexiblefuelvehicle). Рассмотрены особенности конструкции таких автомобилей, а также их стоимость. Основной недостаток топлива E85 – это использование в его составе в качестве «пусковой фракции» углеводородов, что при низкой температуре и недостаточной крепости этанола приводит к расслаиванию композиции. Чтобы этого избежать, используют этиловый спирт крепостью 98% об. и выше, что приводит к повышению себестоимости спирта. В статье предлагается вместо углеводородов в качестве «пусковой фракции» использовать простой циклический эфир – оксид пропилена. Он не только обеспечивает отличные пусковые свойства биоэтанольного топлива, но и позволяет использовать обводненный спирт в составе композиции без расслаивания даже до сверх низких температур. Испытания показали, что в присутствии оксида пропилена можно использовать спирт с содержанием воды до 20% об., что, с одной стороны, снижает требования по содержанию влаги в этиловом спирте и делает его более дешевым, а с другой – выступает аналогом водно-топливных эмульсий.



Информация о статье

Поступила:

02 августа 2021 г.

Рецензирование:

30 сентября 2021 г.

Принята к печати:

25 октября 2021 г.

Ключевые слова:

оксигенаты, биоэтанол, оксид пропилена, фазовая стабильность, октановые числа, испаряемость

Для цитирования: Мирошников А.М., Цыганков Д.В., Полозова А.В. Повышение перспективности спиртовых топлив за счет использования в их составе оксида пропилена // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 5 (147). – С. 45-56 – DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-45-56

На сегодняшний день использование оксигенатов для повышения детонационной стойкости автомобильных бензинов является традиционным путем. Вообще в мире насчитывается большое количество различных антидетонаторов, но всего можно выделить три группы присадок: металлоорганические, ароматические амины и оксигенаты. Эффективность оксигенатов как антидетонационных присадок среди этих групп, пожалуй, самая низкая, но зато они обладают высокой экологической эффективностью, что и предопределило их повсеместное использование.

В России отправной точкой использования оксигенатов стало принятие в декабре 2002 года ГОСТ Р 51866 – 2002 «Бензин неэтилированный», соответствующий европейской нормали EN 228 – 99 [1], который впервые предусматривает 2,7%-ую в пересчете на кислород добавку оксигенатов ограниченного перечня, но с дополнением «другие оксигенаты». Наиболее известным соединением среди оксигенатов является этанол, а точнее биоэтанол. Начиная с 2006 года, он является мировым лидером среди октаноповышающих соединений [2].

Идея использования этанола в качестве топлива или компонента топлива возникла еще в 19 веке. В результате использование спирта началось едва ли не раньше использования бензина. Считается, что впервые идея использования спирта в качестве моторного топлива была озвучена в Париже в 1902 году, когда были представлены 70 двигателей, работающих на этиловом спирте. С тех пор эта идея регулярно обсуждается. На практике это было реализовано в 1906 году, когда добавление спирта в бензин стало основой для работы общественного транспорта Парижа. Многих сразу привлекла дешевизна новинки и ее уменьшенная пожароопасность. Позже этанол начали использовать и в Германии для обычных автомобилей [3]. В США с 1908 около 20 лет выпускался автомобиль Форд-Т – первый в истории массовый автомобиль, при этом он мог работать на бензине, этаноле и смеси обоих видов топлива. Генри Форд считал использование этанола перспективным направлением для американских фермеров, поскольку сырьем для спирта являлась в основном сельскохозяйственная продукция и отходы этой продукции [4].

Этанолсодержащие топлива по концентрации этилового спирта можно разделить на 3 группы: стандартный бензин, содержащий до 5-15% (E5-E15), среднеэтанольные топлива – от 20 до 40% (E20, E30, E40) и высокоэтанольные топлива для специальных автомобилей – от 50 до 100% спирта (E85, E100, ED95).

Первый вариант, когда концентрация спирта составляет до 15%, интересен тем, что не требует никаких изменений в конструкции и регулировках двигателя. Мало того, Технический регламент РФ на бензин [5] и Технический регламент таможенного союза [6], которые являются как бы приемниками ГОСТ Р 51866 – 2002, также предусматривают добавку этанола до 5%. Считается, что чем больше концентрация этанола, тем выше октановое число топлива и тем ниже токсичность отработавших газов. Следующей ступенью по увеличению концентрации этанола в нашей стране стал бензол по ГОСТ Р 52201 [7]. Он предусматривает содержание 10% спирта. С формальной точки зрения это уже не бензин, но его можно использовать в качестве моторного топлива без каких-либо изменений в конструкции и регулировок. В США пошли дальше и начали использовать топливо с 15% этанола. Такое топливо рекомендуется для тех автомобилей, выпуск которых был начат после 2001 года [2]. На сегодняшний день 15% этанола это предельное количество спирта, когда не требуется изменять конструкцию и регулировки двигателя.

Наибольший интерес с точки зрения реализации потенциальных преимуществ спирта представляет третий вариант – это высокоэтанольные топлива с содержанием спирта от 50 до 100% (E85, E100, ED95). Самым главным конкурентным преимуществом этанола по сравнению с нефтяными топливами является его возобновляемость и доступность сырья. Биоэтанол на сегодняшнем этапе может быть произведен из любого растительного сырья. Мировыми лидерами по производству биоэтанола являются США и Бразилия. В США биоэтанол производят из кукурузы, а в Бразилии из сахарного тростника. Биоэтанол имеет положительный энергетический баланс, который в зависимости от вида сырья может колебаться от 1,24 до 8. То есть при сжигании этанола выделяется в несколько раз больше энергии, чем затрачивается при его производстве. В этом смысле он на порядок превосходит бензин или дизельное топливо. Огромные суммы тратятся на разведку, добычу, транспортировку, переработку нефти, поэтому топливный баланс нефтяных топлив меньше единицы [3, 8]. Эта особенность предопределяет относительно низкую себестоимость спирта по сравнению с нефтяными топливами. Биоэтанол позволяет существенно сократить выбросы углекислого газа в атмосферу. Дело в том, что

в процессе сжигания этанола из растительного сырья в атмосферу попадает ровно столько же CO_2 , сколько до этого было поглощено теми же самыми растениями в результате реакции фотосинтеза. По сути, производство этилового спирта есть не что иное, как «фотосинтез наоборот» с той лишь разницей, что в одном случае требуется солнечный свет, а в другом — выделяется тепло [3, 8]. Конечно, углекислый газ является нетоксичным для человека, но, тем не менее, он относится к парниковым газам и способствует глобальному потеплению на планете. Каждая страна, вошедшая в Киотский протокол, имеет определенные квоты на выбросы парниковых газов.

Важным преимуществом спиртового топлива является его высокое октановое число, которое достигает 129,5 по исследовательскому методу и 101,3 по моторному методу соответственно [9]. Понятно, что максимально полно данные характеристики будут реализованы при использовании 100% спирта, так, собственно, и происходит в Бразилии, где широко используется спиртовое топливо E100. В более северных широтах использование топлива E100 становится проблематичным – поскольку спирт испаряется хуже, чем автомобильный бензин, то уже при температуре плюс 10°C могут возникнуть проблемы с запуском двигателя. Решается эта проблема за счет добавления в спирт бензина или легкокипящих углеводородных фракций, в результате такая «пусковая фракция» и обеспечивает запуск двигателя при низких температурах. Наиболее известная спиртовая композиция — это спиртовое топливо E85 (в России оно маркируется как Ed75-Ed85 согласно ГОСТ Р 54290-2010) [10]. Данное спиртовое топливо подразделяется на летнее и зимнее. Летнее содержит 74% этанола и 17-26% углеводородов и простых алифатических эфиров в качестве «пусковой фракции». Зимнее содержит 70% этанола и 17-30% углеводородов и простых алифатических эфиров в качестве «пусковой фракции».

Плохая испаряемость – это не единственный недостаток спиртового топлива. Так, спирт имеет теплотворную способность 30,6 МДж/кг против 43,6 МДж/кг у бензина, а значит, при прочих равных условиях на спиртовом топливе двигатель будет развивать меньшую мощность при большем расходе топлива. Решить эту проблему можно за счет более сильного сжатия смеси, поскольку у спирта значительно большее октановое число, чем у бензина, то он без возникновения детонации способен выдержать большее сжатие. Степень сжатия при использовании спирта может составлять 19 единиц [3] против 10 у бензина. Если антидетонационный потенциал спирта будет полностью реализован, то расход топлива будет ниже, а мощность выше, чем на бензине, что и обуславливает более высокий КПД при работе двигателя на спирте. Увеличить сжатие можно и за счет увеличения угла опережения зажигания, однако это вряд ли позволит получить максимальную отдачу двигателя. Необходимо учитывать то, что спирт обладает коррозионной активностью по отношению к металлам, особенно в присутствии воды, а также агрессивностью по отношению к резине и пластику. Решить все эти вопросы за счет изменения регулировок и переделок универсальных автомобилей вряд ли возможно, поэтому для высокоэтанольных топлив используют только специализированные автомобили с универсальным потреблением топлива (FFV – flexible fuel vehicle). Такие автомобили могут работать как на обычном бензине, так и на спирте, а также на любой смеси спирта с бензином. Основные конструктивные отличия таких автомобилей следующие [11]:

1. Бортовой компьютер регулирует соотношение топливо – воздух в более широком диапазоне в зависимости от содержания биоэтанола в топливе. Это является самым важным для автомобилей FFV, поскольку полное сгорание для бензина обеспечивается при соотношении воздух – топливо, равное 14,7:1 (стехиометрический состав смеси), а для спирта это соотношение 9:1.
2. Бортовой компьютер регулирует угол опережения зажигания в более широком диапазоне в зависимости от фактического октанового числа спиртовой композиции. От этого напрямую зависит эффективное давление в цилиндрах двигателя, а значит, выходная мощность и расход топлива.
3. Металлические и неметаллические материалы, контактирующие с топливом, имеют высокую стойкость к воздействию биоэтанола.
4. Топливный бак увеличенного объема для сохранения запаса хода.

5. Топливный насос и система впрыска имеют увеличенную производительность для обеспечения подачи большего количества биоэтанольного топлива, имеющего более низкую теплотворную способность по сравнению с бензином.
6. Электрические соединения топливной системы электрически изолированы, поскольку биоэтанольное топливо обладает большей электрической проводимостью по сравнению с бензином.

Таким образом, технические проблемы, связанные с особенностями использования биоэтанольного топлива в конструкции автомобилей FFV, полностью решены. Конечно, это связано с дополнительными затратами, однако, очевидно, они настолько небольшие, что для большинства марок автомобилей производитель устанавливает цену на уровне базовых моделей [11].

На сегодняшний день остается нерешенным ряд технологических проблем, связанных с применением биоэтанольных топлив, и главная проблема заключается в «пусковой фракции» спиртового топлива. Традиционно для этих целей использовался товарный бензин, затем пытались использовать узкие углеводородные фракции, включающие в себя пентан, изопентан, бутан, изобутан и пропан [12], для удешевления композиции предлагали использовать низкокачественные бензины и бензиновые фракции, включая побочные продукты нефтепереработки и даже отходы. Например, низкооктановая фракция прямой перегонки нефти или газового конденсата [13], бензиновая фракция процесса гидрокрекинга [14], бензин коксования [15] и тому подобное.

Эти и другие углеводородные фракции имеют один общий недостаток – это низкая фазовая стабильность, то есть в условиях эксплуатации и хранения есть вероятность расслоения углеводородной части и спирта. Наличие воды в топливе и понижение температуры резко усиливают вероятность расслоения. Чтобы его избежать, предъявляют повышенные требования к крепости спирта, как правило, содержание влаги в спирте не должно превышать 2%, то есть содержание этанола должно быть не менее 98%. Такая степень обезвоживания спирта требует дополнительных затрат при его производстве. Возникают определенные трудности и при заправке автомобилей, поскольку в заправочных емкостях часто присутствует влага.

Даже если использовать товарный бензин АИ-92 в качестве «пусковой фракции», при условии того, что эта фракция составит 30%, а 70% этанол с октановым числом 129,5, то октановое число готового топлива составит порядка 118 единиц по исследовательскому методу. Таким образом, даже в идеальном случае возникает недоиспользование антидетонационного потенциала биоэтанола, не говоря об использовании в качестве «пусковых фракций» некондиционных бензинов и бензиновых фракций, у которых октановое число по исследовательскому методу редко превышает 70 единиц.

Использование в качестве «пусковых фракций» дешевых некондиционных бензинов и бензиновых фракций в ряде случаев может быть чревато избыточным содержанием серы и смол.

Из обозначенных проблем самой главной является проблема фазовой стабильности биоэтанольных топлив. По мнению автора, если не удастся в полной мере стабилизировать спирто-бензиновую смесь, то следует отказаться не только от бензиновой, но и вообще от углеводородной части. Вместо нее можно использовать низкокипящие эфиры. В качестве такого эфира автор предлагает использовать оксид пропилена [16]. Оксид пропилена – это простой циклический эфир с температурой кипения 34,2 °С и плотностью 859 кг/м³ при 20°С. Так как оксид пропилена имеет в своем составе кислород, то он так же, как и этанол, относится к оксигенатам.

Поскольку этанол неограниченно растворяется в воде, а оксид пропилена (ОП) тоже имеет хорошую растворимость с водой, было сделано предположение, что фазовая стабильность в системе этанол-ОП-вода сохранится даже при сверхвысоком количестве воды. Максимальное количество воды в известных водно-топливных эмульсиях не превышает, как правило, 20% [17], поэтому для проведения исследования были использованы два образца биоэтанола (этиловый спирт №1 с содержанием воды 5% об. и этиловый спирт №2 с содержанием воды 20% об.). Характеристики биоэтанольных спиртов представлены в таблице 1.

Основным физико-химическим показателем, от которого зависит фазовая стабильность топлив, является температура помутнения, поэтому с целью оценки фазовой стабильности были

определены температуры помутнения различных образцов биоэтанольных топлив. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 1. Характеристика биоэтанола

Table. 1. Characteristics of bioethanol

№п/п	Наименование показателя	Наименование компонента	
		Этиловый спирт №1	Этиловый спирт №2
1	Содержание этилового спирта, % об.	95	80
2	Содержание воды, % об.	5	20
3	Плотность при 15 °С, кг/м ³	812,3	856,1

Таблица 2. Результаты исследования биоэтанольных топлив

Table. 2. Results of the study of bioethanol fuels

№	Наименование компонента	Содержание компонента % об.				Метод испытания	
		1	2	3	4		
1.	Этиловый спирт №1	90	95	-	-	Метод испытания	
2.	Этиловый спирт №2	-	-	90	95		
3.	Оксид пропилена	10	5	10	5		
Итого компонентов		100	100	100	100		
№	Наименование показателя	ASTM D5798/EN15293	Результаты испытаний				Определен о расчетным методом
1.	Октановое число по моторному методу	Не менее 85,0 ¹⁾	100,8	101,0	101,0	102,0	
2.	Объемная доля этилового спирта	Не менее 70 ²⁾	90	95	90	95	ASTM D 5501
3.	Объемная доля метилового спирта, %	Не более 0,5	отсутствие				
4.	Массовая доля серы, мг/кг, не более	Не более 10 ³⁾	0	0	0	0	ASTM D 5453
5.	Давление насыщенных паров, кПА	35 – 100 ³⁾	41,8	36,8	34	28	ASTM D 4953
6.	Конец кипения, °С	Не более 215	85	82	100	100	ASTM D 86
Массовая концентрация смол, мг/100 см ³							
7.	-не промытых растворителем	Не более 20	0	2	2	0	ASTM D 381
	-промытых растворителем	Не более 5	0	0	0	0	
8.	Объемная доля воды в спирте, % об.	Не более 2	5	5	20	20	
9.	Объемная доля воды в композиции, % об.	Не более 1,2	4,50	4,75	18,00	19,00	
10.	Температура помутнения, °С	Не выше минус 30°С	Ниже минус 65 °С				ГОСТ 5066
11.	Коррозионное действие на медную пластинку, единицы по шкале (3 часа при 50 °С)	Класс 1	Класс 1				ASTM D 130

1) Требование ГОСТ 32513 к автомобильному бензину марки АИ-95

2)Требование ГОСТ Р 54290-2010 «Топливный этанол (Ed75-Ed85) для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Технические условия».

3) Требование «Технического регламента» к автомобильному бензину экологического класса К5.

Таблица 3. Результаты разгонки образцов топлив
 Table. 3. Results of overclocking of fuel samples

Отогнанное топливо, %	бензин АИ-98	85% спирта, 15% бензина	90% спирта крепостью 95% об., 10% оксида пропилена	95 % спирта крепостью 95% об., 5% оксида пропилена	90 % спирта крепостью 80% и 10% оксида пропилена	95% спирта крепостью 80% об., 5% оксида пропилена
НР	45	62	61	70	60	70
10	53	75	72	74	72	75
20	67	78	74	76	76	77
30	79	80	76	77	77	78
40	92	86	77	77	78	79
50	106	91	77	77	79	79
60	119	93	77	77	79	80
70	130	97	77	77	80	81
80	146	101	77	77	81	84
90	176	106	77	77	85	85
	195(92%)	128(97%)	85(98%)	82(99%)	100(98%)	100(99%)
потери	6,5%	2,5%	2%	1%	2%	1%
остаток	1,5%	0,5%	0%	0%	0%	0%

Таблица 4. Энергетические характеристики ОП [18]
 Table. 4. Energy characteristics of propylene oxide [18]

Горючие	Температура, °С	Минимальная энергия зажигания, МДж	Скорость распространения пламени при горении в воздухе, см/с
н-гептан	25	14,5	38,6
	100	6,7	
	171	3,2	
изооктан	25	27	34,6
	100	11	
	171	4,8	
оксид пропилена	25	2,4	67,2
	100	1,5	
	182	0,9	
бензин			44,6

Как видно из таблицы, помутнение всех четырех образцов биоэтанольного топлива не произошло даже при температуре минус 65°С. Согласно требованиям нормативных документов, в частности, ГОСТ Р 52201 на бензанол, температура помутнения должна быть не выше минус 30°С. Полученные результаты по температуре помутнения не просто очень хорошие, они полностью решают вопрос фазовой стабильности даже для сильно обводненного этанола.

Важным моментом являются пусковые свойства топлива. Для биоэтанольных топлив пусковые свойства определяются эффективностью «пусковой фракции», чем ниже температура ее кипения, тем легче и быстрее будет запускаться двигатель. Если в качестве «пусковой фракции» использовать товарный бензин, то он имеет температуру кипения от 33 до 210°С, тогда как у ОП порядка 34°С. Таким образом, понятно, что ОП имеет лучшие характеристики испаряемости, чем бензин, а это значит, что для достижения того же эффекта потребуется меньшее количество ОП. Чтобы это доказать, были произведены разгонки различных топлив. В качестве образца для сравнения использовалось классическое биоэтанольное топливо Е85 (85%этанола и 15% товарного бензина). Поскольку за пуск двигателя отвечает температура перегонки 10%, то, чтобы оценить эффективность ОП в качестве «пусковой фракции», необходимо сопоставить эти значения для различных составов биоэтанольных топлив (см. таблицу 3.).

Как видно из таблицы, температура перегонки 10% для классического биоэтанольного топлива составила 75⁰С, а эти же значения температуры для образцов, содержащих ОП вместо бензина, не превысили 75⁰С. Это значит, что 5% ОП в составе биоэтанольного топлива вполне могут заменить 15% товарного бензина по пусковым характеристикам. Для получения более полной картины по пусковым свойствам топлива наряду с фракционным составом необходимо также учитывать давление насыщенных паров (см. таблицу 2). Как видно из таблицы, те образцы биоэтанольного топлива, где содержание влаги 5%, по давлению насыщенных паров вполне вписываются в показатели ГОСТа, а это значит, что ОП действительно обладает хорошими пусковыми свойствами и по своей эффективности в три раза превосходит товарные бензины. Те образцы биоэтанольного топлива, где количество влаги 20%, немного не дотягивают по давлению насыщенных паров до нормативных значений, но надо понимать, что 20% – это предельное количество воды и не каждая водно-топливная эмульсия содержит ее в таком количестве. Если поставить цель использования настолько обводненного топлива, то ее можно легко достичь небольшим увеличением концентрации ОП в составе биоэтанольного топлива.

То, что ОП в «пусковой фракции» требуется втрое меньше бензина или бензиновых фракций, является очень важным конкурентным преимуществом. Во-первых, чем меньше «пусковая фракция», тем больше этанольная часть, а это значит, что спирт сможет более полно реализовать свои антидетонационные качества. Во-вторых, октановое число ОП примерно должно быть на уровне изопропанола, по исследовательскому методу это 119,1, что намного превышает бензин АИ-92, не говоря уже о прямогонных фракциях, чье октановое число не выше 70 единиц. Даже если бы октановое число ОП составляло 92 единицы, его все равно было бы использовать более выгодно, чем АИ-92, поскольку ОП нужно втрое меньше, а значит при смешении с этанолом просадка по октановому числу меньше. В-третьих, это экономические показатели, если объем «пусковой фракции» меньше, то и итоговая цена ее будет ниже. Да цена ОП на сегодняшний день составляет 150 тыс. рублей за тонну, что существенно превышает не только дешевые прямогонные фракции, но и товарный бензин, но поскольку ее объем втрое ниже, то итоговая стоимость будет сопоставима с бензином АИ-92, цена которого составляет порядка 50 тыс. рублей за тонну. Кроме того, использование в качестве «пусковой фракции» ОП полностью решает проблему, связанную с содержанием в топливе серы, и значительно снижает смолы.

Есть у ОП и другие преимущества, которые непосредственно связаны с этим соединением. Как органическое основание, ОП стабилизирует топливо при хранении, то есть повышает его химическую стабильность, а это значит, что в присутствии ОП срок годности топлива будет выше. Также ОП несколько снижает коррозию стальных деталей, а это значит, что в композиции биоэтанольного топлива он будет ослаблять коррозионную активность этилового спирта.

Как оксигенат ОП не имеет широкого распространения, однако в свое время широко использовался в качестве компонента для спортивного бензина и даже продавался в США как мощностно повышающая добавка. Использовался ОП и в качестве компонента ракетного топлива. Способность ОП к увеличению мощности двигателя, скорее всего, можно объяснить особенностями его энергетических характеристик. Так, минимальная энергия зажигания у ОП ниже более, чем в 5 раз, а скорость горения выше примерно в 2 раза, чем у углеводородов (см. таблицу 4).

То, что ОП способствует увеличению мощности, является положительным моментом также и для его использования в биоэтанольных топливах, поскольку это позволит полностью или частично компенсировать снижение мощности из-за пониженной теплотворной способности биоэтанола. Для того, чтобы в этом убедиться, были сняты скоростные характеристики автомобиля ВАЗ-2108 при его работе на различных топливах. Испытания проводились на мощностном стенде LPS 2020. Целью испытаний являлось определение мощности на различных видах спиртового топлива. Результаты представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка, есть следующие результаты. Во-первых, ОП действительно способствует увеличению мощности. Так, на бензине АИ-98 с добавлением 5% ОП максимальная мощность составила 99 л. с., в то время как на базовом бензине АИ-98 – только 92 л. с. Во-вторых, мощность на спиртовых топливах с добавлением ОП оказалась выше, чем на высокооктановом бензине АИ-98. Понятно, что условия по сгоранию были не одинаковые,

поскольку настройки бортового компьютера менялись с учетом достижения лучших характеристик для каждого из топлив, но важен сам факт того, что биоэтанольное топливо может превосходить по мощности традиционный бензин. В-третьих, наилучший результат по мощности был достигнут на сильно обводненном спирте с содержанием влаги 20%. Это окончательно доказывает, что при использовании ОП в качестве «пусковой фракции» о проблемах, связанных с водой, можно забыть и смело использовать обычный этиловый спирт крепостью 95%, при этом, если в топливных резервуарах окажется избыточная влага, это не страшно, поскольку ее суммарное количество вряд ли превысит 20%.

С традиционной точки зрения всем известно, что вода и огонь являются антагонистами, то есть вода тушит огонь, но специалисты знают, что вода, введенная в двигатель в нужном количестве, оказывает позитивное действие на процесс горения и способствует росту мощности и снижению расхода топлива. Вопрос стоит только в том, как подать воду в двигатель. Одни подают воду отдельно в цилиндры, используя для этого специальные устройства, другие добавляют воду непосредственно в топливо, что в свою очередь требует еще и специальных эмульгаторов, которые предотвращают расслаивание воды и топлива. Такие топлива получили название водно-топливные эмульсии. Известны водно-топливные эмульсии как для двигателей с искровым зажиганием, так и для дизелей. Примерное количество воды, вводимой в топливо, составляет 10-20%. Использование биоэтанольного топлива, где в качестве спиртовой части используется спирт крепостью 80%, а в качестве «пусковой фракции» оксид пропилена, является прекрасным аналогом классической водно-топливной эмульсии. Только при этом не возникнет никаких проблем с фазовой стабильностью топлива, то есть оно не будет расслаиваться благодаря использованию ОП вместо углеводородов в качестве «пусковой фракции».

Использование воды, если речь идет о классических водно-топливных эмульсиях, дает следующие преимущества [19, 20]:

1. Снижение температуры впускного воздуха.
2. Резкое повышение детонационной стойкости топлива (в том числе некачественного и низкооктанового).
3. Снижение вредных выбросов на 60-80%.
4. Повышение мощности на 15-20% и крутящего момента на 25-30%.
5. Снижение расхода топлива.
6. Очистка впуска, камеры сгорания, клапанов, поршней, турбины и свечей зажигания.

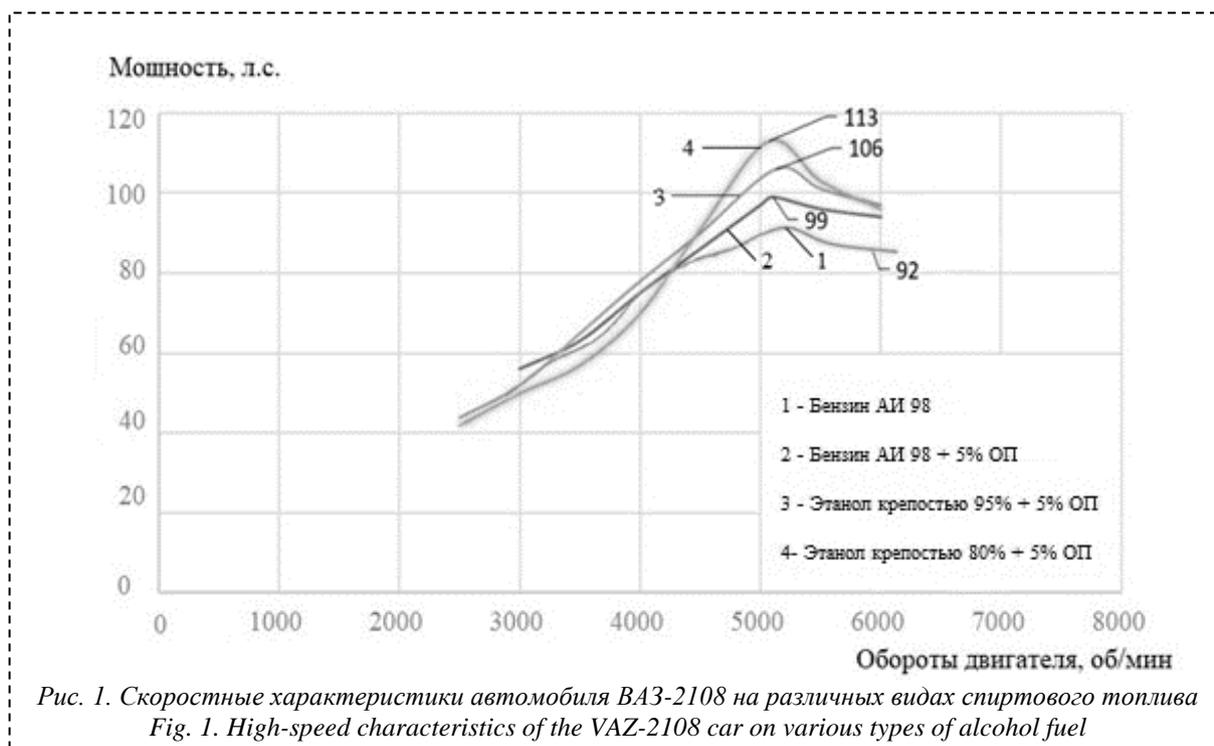


Рис. 1. Скоростные характеристики автомобиля VAZ-2108 на различных видах спиртового топлива
Fig. 1. High-speed characteristics of the VAZ-2108 car on various types of alcohol fuel

При впрыске воды в строго дозированном объеме при условии, что вода распыляется каплями размером менее 0.1мм, двигатель начинает работать иначе. Вода обладает огромной теплоемкостью, охлаждает коллектор и впускной воздух, который становится плотнее, а значит, в двигатель попадет больше кислорода и больше топлива сгорит полностью, а это прямой путь к повышению мощности. По данным исследований, увеличение мощности составляет 10-15% для бензиновых ДВС и 20-30% для дизелей. Вода, попадая в горячую камеру сгорания, испаряется и увеличивается в объеме в 1700 раз, давление пара помогает двигать поршни, т.е. выполнять работу, в результате чего крутящий момент двигателя увеличивается. Пар прекрасно очищает выпускной коллектор, клапаны, камеру сгорания, поршни, турбину от нагара, получается, что с впрыском воды двигатель постоянно оmyвается изнутри. Впрыск воды увеличивает детонационную стойкость топлива, это значит, что можно использовать более дешевое топливо без вреда для двигателя. Впрыск воды позволяет экономить топливо – по данным исследований расход топлива снижается от 10 до 20%, в зависимости от типа и мощности ДВС.

Закончить хочется словами Дмитрия Ивановича Менделеева: «Сжигать нефть это все равно, что топить ассигнациями...» [21]. Действительно, нефть сегодня является сырьем для производства большого спектра промышленной продукции. Вот только некоторые производные нефти: синтетические каучуки и резины, синтетические ткани, пластмассы, полимерные пленки (полиэтилен и полипропилен), растворители, краски и лаки, моющие средства, удобрения. И это далеко не полный перечень продукции. В этих условиях с учетом ограниченности нефти сжигать ее как топливо в двигателях просто кощунство, тем более, как оказывается сегодня, нефтяные топлива – далеко не лучший вариант для тепловых двигателей.

Использование в качестве «пусковой фракции» ОП вместо углеводородов действительно позволяет решить многие проблемы спиртовых топлив и повысить их перспективность уже сегодня. Кроме того, ОП открывает возможности создания принципиально новых топлив с использованием воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51866 – 2002 (ЕН 228-99) Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. Дата введения 2002-07-01.
2. Ершов М.А. Химмотологические требования к биоэтанольным топливам Е30 и Е85 и перспективы их применения / М.А. Ершов, Е.В. Трифонова, И.Ф. Хабибуллин, В.Е. Емельянов // Химия и технология топлив и масел. – 2015. – №5, С.8-12.
3. Цыганков Д.В. Спиртовое топливо как топливо будущего / Д.В. Цыганков, Д.С. Коновалов // Сборник материалов XI Всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», 16-19 апр. 2019 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева»; редкол.: С.Г. Костюк (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2019.
4. Коновалов Д.С. Спирт против нефти / Д.С. Коновалов, Д.В. Цыганков // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: сборник материалов III Международной научно-практической конференции (14-17 октября 2019 года), Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева»; редкол.: Д.М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2019 – с. 290-293.
5. Технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2008 г. N 118 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2008, N 9, ст. 854).
6. Технический регламент таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту (с изменениями на 2 декабря 2015 года)», утвержденный Решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 года №826.
7. ГОСТ Р 52201-2004 «Топливо моторное этанольное для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Бензолы. Общие технические требования».
8. Коновалов Д.С. Спирт как перспективное топливо / Д.С. Коновалов, Д.В. Цыганков // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: Сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции (Пермь 30 апреля 2019 г.). – Стерлитамак: АМИ, 2019. – с. 116-119.
9. Нефтеперерабатывающая промышленность США и бывшего СССР / В.М. Капустин, С.Г. Кукуес, Р.Г. Бертолусин. – М.: Химия, 1995. – 304 с.

10. ГОСТ Р 54290-2010 «Топливный этанол (Ed75-Ed85) для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Технические условия».
11. Ершов М.А. Опыт и перспективы применения биоэтанольных топлив / М.А. Ершов, Е.В. Трифонова, И.Ф. Хабибуллин, В.Е. Емельянов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2014. – №12, с.33-37.
12. Oerlikon Maschf, Method of regulating electrical power plants to a constant power factor. Great Britain patent GB 243326 - 1926-07-22
13. Альтернативное автомобильное топливо. Пат. 2549179 РФ. МПК C10L1/18/ М.А. Ершов, Т.А. Климова, С.П. Евдокушин, Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти» ОАО «ВНИИ НП» Заявл. 30.01.2014. Оpubл. 20.04.2015, Бюл. № 11.
14. Альтернативное автомобильное топливо и способ его получения. Пат. 260554 РФ. МПК C10L1/182/ М.А. Ершов, Е.В. Григорьева, И. Ф. Хабибуллин, В.Е. Емельянов. Акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти» (АО «ВНИИ НП») Заявл. 25.12.2015. Оpubл. 10.01.2017, Бюл. № 1.
15. Ершов М.А. Результаты испытаний биоэтанольного топлива E30 на полноразмерном инжекторном двигателе в сравнении со стандартными бензинами / М.А. Ершов, И.Ф. Хабибуллин, Е.В. Григорьева, В.Е. Лазарев, Е.А. Лазарев // Химия и технология топлив и масел. – 2017. – №3, С. 3-10.
16. Альтернативное автомобильное топливо и способ его получения. Пат. 2723546 РФ. МПК C10L1/02/ Д.В. Цыганков, А.М. Мирошников, А.В. Полозова, Д.С. Коновалов. Заявл. 08.10.2019. Оpubл. 16.06.2020 Бюл. № 17.
17. Топливо- водная эмульсия. Пат. 2367683 РФ. МПК C10L1/32/ Ю.В. Воробьев, В.Б. Тетерюков. Заявл. 23.10.2006 Оpubл. 20.09.2009 Бюл. № 26.
18. Большаков Г.Ф. Физико-химические основы применения топлив и масел. Теоретические основы химмотологии. – Новосибирск: Наука, 1987. – 208 с.
19. Водно-топливная эмульсия. Пат. 2365618 РФ. МПК C10L1/32/ Ю.В. Воробьев, В.Б. Тетерюков. Заявл. 26.01.2007. Оpubл. 27.08.2009 Бюл. № 24.
20. Коновалов Д.С. Применение воды для тепловых двигателей / Д.С. Коновалов, Д.В. Цыганков // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей четвертой международной конференции, 31 мая 2019 г. Часть 1. – Казань: ООО «Конверт», – с.98-101.
21. Чугаев Л.А. Дмитрий Иванович Менделеев: жизнь и деятельность. – Ленинград: Научное химико-техническое издательство, 1924. – 57 с.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2021 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-45-56

UDS 656.13.065.3

INCREASING THE PROSPECTS OF ALCOHOL FUELS DUE TO THE USE OF PROPYLENE OXIDE IN THEIR COMPOSITION

Alexandr M. Miroshnikov²

Dr.Sc. in Engineering, alexandr_mirosh@mail.ru

Dmitry V. Tsygankov²

C. Sc. in Chemistry, cygankov.d@inbox.ru

Alena V. Polozova²

graduate student, avbashtanova96@mail.ru

¹«Khimprom», 35 street 1st Stakhanovskaya, Kemerovo, 650021, Russian Federation

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation



Article info

Received:

02 August 2021

Revised:

30 September 2021

Accepted:

25 October 2021

Keywords: oxygenates, bioethanol, propylene oxide, phase stability, octane numbers, evaporation.

Abstract.

The advantages and problems of using bioethanol fuels are considered, including standard gasoline containing up to 5-15% alcohol (E5-E15), medium ethanol fuels - from 20 to 40% alcohol (E20, E30, E40) and high ethanol fuels for special vehicles - from 50 to 100% alcohol (E85, E100, ED95). It has been substantiated that the maximum effect from the point of view of realizing the potential capabilities of alcohol can be provided only by high-ethanol fuel of the E85 type. Such fuel requires the use of special vehicle designs, which are called FFV (flexible fuel vehicle). The design features of such cars, as well as their cost, are considered. The main disadvantage of E85 fuel is the use of hydrocarbons in its composition as a "starting fraction", which, at low temperatures and insufficient ethanol strength, leads to delamination of the composition. To avoid this, use ethyl alcohol with a strength of 98% vol. and higher, which leads to an increase in the cost of alcohol. The article proposes to use a simple cyclic ether - propylene oxide as a "starting fraction" instead of hydrocarbons. It not only provides excellent starting properties of bioethanol fuel, but also allows the use of watered alcohol in the composition of the composition without delamination even to extremely low temperatures. Tests have shown that in the presence of propylene oxide, an alcohol with a water content of up to 20% by volume can be used. which, on the one hand, reduces the requirements for moisture content in ethyl alcohol and makes it cheaper, and on the other hand, acts as an analogue of water-fuel emulsions.

For citation Miroshnikov A.M., Tsygankov D.V., Polozova A.V. Increasing the prospects of alcohol fuels due to the use of propylene oxide in their composition. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.5 (147), pp. 45-56. DOI: 10.26730/1999-4125-2021-5-45-56

REFERENCES

1. GOST R 51866 – 2002 (EN 228-99) Topлива motornye. Benzin neetilirovanny. Tekhnicheskie usloviya. Data vvedeniya 2002-07-01.
2. Ershov M. A. Khimotologicheskie trebovaniya k bioetanol'nym toplivam E30 i E85 i perspektivy ikh primeneniya / M. A. Ershov, E. V. Trifonova, I. F. Khabibullin, V. E. Emel'yanov // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. – 2015. – №5, S.8-12.
3. Tsygankov D. V. Spirtovoe toplivo kak toplivo budushchego / D.V. Tsygankov, D.S. Konovalov // Sbornik materialov XI Vserossiyskoy, nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya», 16-19 apr. 2019 g., Kemerovo [Elektronnyy resurs] / FGBOU VO «Kuzbas. gos. tekhn. un-t im. T. F. Gorbacheva»; redkol.: S. G. Kostyuk (otv. red.) [i dr.]. – Kemerovo, 2019.
4. Konovalov D.S. Spirt protiv nefi / D. S. Konovalov, D. V. Tsygankov // Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyakh, mashinostroenii i avtotransporte: sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (14-17 oktyabrya 2019 goda), Kemerovo [Elektronnyy resurs] / FGBOU VO «Kuzbas. gos. tekhn. un-t im. T.F. Gorbacheva»; redkol.: D.M. Dubinkin (otv. red.) [i dr.]. – Kemerovo, 2019 – s. 290 – 293.
5. Tekhnicheskii reglament «O trebovaniyakh k avtomobil'nomu i aviatsionnomu benzinu, dizel'nomu i sudovomu toplivu, toplivu dlya reaktivnykh dvigateley i topochnomu mazutu», utverzhdenyy postanovleniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 27 fevralya 2008 g. N 118 (Sobranie zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii, 2008, N 9, st. 854).
6. Tekhnicheskii reglament tamozhennogo soyuza «O trebovaniyakh k avtomobil'nomu i aviatsionnomu benzinu, dizel'nomu i sudovomu toplivu, toplivu dlya reaktivnykh dvigateley i mazutu (s izmeneniyami na 2 dekabrya 2015 goda)», utverzhdenyy Resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 18 oktyabrya 2011 goda №826.
7. GOST R 52201-2004 «Toplivo motornoe etanol'noe dlya avtomobil'nykh dvigateley s prinuditel'nym zazhiganiem. Benzanoly. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya».
8. Konovalov D.S. Spirt kak perspektivnoe toplivo / D.S. Konovalov, D.V. Tsygankov // Sintez nauki i obshchestva v reshenii global'nykh problem sovremennosti: Sbornik statey po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Perm' 30 aprelya 2019 g.). – Sterlitamak: AMI, 2019. – s. 116-119.
9. Neftepereabatyvayushchaya promyshlennost' SShA i byvshego SSSR / V. M. Kapustin, S. G. Kukes, R. G. Bertolusini. – M.: Khimiya, 1995. – 304 s.
10. GOST R 54290-2010 «Toplivnyy etanol (Ed75-Ed85) dlya avtomobil'nykh dvigateley s prinuditel'nym zazhiganiem. Tekhnicheskie usloviya».

11. Ershov M.A. Opyt i perspektivy primeneniya bioetanol'nykh topliv / M.A. Ershov, E.V. Trifonova, I.F. Khabibullin, V.E. Emel'yanov // *Neftepererabotka i neftekhimiya*. – 2014. - №12, s. 33-37.
12. Oerlikon Maschf, Method of regulating electrical power plants to a constant power factor. Great Britain patent GB 243326 - 1926-07-22.
13. Alternativnoe avtomobil'noe toplivo. Pat. 2549179 RF. MPK S10L1/18/ M.A. Ershov, T.A. Klimova, S.P. Evdokushin, Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut po pererabotke nefti» OAO «VNII NP» Zayavl. 30.01.2014. Opubl. 20.04.2015, Byul. № 11.
14. Alternativnoe avtomobil'noe toplivo i sposob ego polucheniya. Pat. 260554 RF. MPK S10L1/182/ M.A. Ershov, E.V. Grigor'eva, I. F. Khabibullin, V.E. Emel'yanov. Aktsionernoe obshchestvo «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut po pererabotke nefti» (AO «VNII NP») Zayavl. 25.12.2015. Opubl. 10.01.2017, Byul. № 1.
15. Ershov M.A. Rezul'taty ispytaniy bioetanol'nogo topliva E30 na polnorazmernom inzhektornom dvigatele v sravnenii so standartnymi benzinami / M.A. Ershov, I.F. Khabibullin, E.V. Grigor'eva, V.E. Lazarev, E.A. Lazarev // *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. – 2017. – №3, S.3-10.
16. Alternativnoe avtomobil'noe toplivo i sposob ego polucheniya. Pat. 2723546 RF. MPK S10L1/02/ D.V. Tsygankov, A.M. Miroshnikov, A.V. Polozova, D.S. Konovalov. Zayavl. 08.10.2019. Opubl. 16.06.2020 Byul. № 17.
17. Toplivno- vodnaya emul'siya. Pat. 2367683 RF. MPK S10L1/32/ Yu.V. Vorob'ev, V.B. Teteryukov. Zayavl. 23.10.2006 Opubl. 20.09.2009 Byul. № 26.
18. Bol'shakov G.F. Fiziko-khimicheskie osnovy primeneniya topliv i masel. Teoreticheskie osnovy khimotologii. – Novosibirsk: Nauka, 1987. – 208 s.
19. Vodno-toplivnaya emul'siya. Pat. 2365618 RF. MPK S10L1/32/ Yu.V. Vorob'ev, V.B. Teteryukov. Zayavl. 26.01.2007. Opubl. 27.08.2009 Byul. № 24.
20. Konovalov D. S. Primenenie vody dlya teplovykh dvigateley / D. S. Konovalov, D.V. Tsygankov // *Peredovye innovatsionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovaniya, problemy vnedreniya v proizvodstvo: sbornik nauchnykh statey chetvertoy mezhdunarodnoy konferentsii, 31 maya 2019 g. Chast' 1*. – Kazan': OOO «Konvert», – s. 98-101.
21. Chugaev L. A. Dmitriy Ivanovich Mendeleev: zhizn' i deyatelnost'. – Leningrad: Nauchnoe khimiko-tekhnicheskoe izdatel'stvo, 1924. – 57 s.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.