

УДК 665.3:621.436

Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив

В. А. Звонов, А. В. Козлов, А. С. Теренченко

ВАСИЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ЗВОНОВ — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, отдел энергосберегающих технологий и альтернативных топлив Центрального научно-исследовательского автомобильного и автомоторного института (ФГУП «НАМИ»). Область научных интересов: математическое моделирование процессов образования токсичных веществ в двигателях внутреннего сгорания, системы нейтрализации выхлопных газов, альтернативные топлива.

АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ КОЗЛОВ — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел энергосберегающих технологий и альтернативных топлив ФГУП «НАМИ». Область научных интересов: математическое моделирование процессов образования токсичных веществ в двигателях внутреннего сгорания, оценка показателей автомобилей, двигателей и топлив в полном жизненном цикле, альтернативные топлива.

АЛЕКСЕЙ СТАНИСЛАВОВИЧ ТЕРЕНЧЕНКО — кандидат технических наук, заведующий лабораторией, отдел энергосберегающих технологий и альтернативных топлив ФГУП «НАМИ». Область научных интересов: оценка показателей топлив в полном жизненном цикле, альтернативные топлива.

125438 Москва, ул. Автомоторная, д. 2, ФГУП НАМИ, тел. (495)454-01-91, факс (495)456-31-97,
E mail v_a_zvonov@mail.ru

На протяжении XX века нефть являлась основным энергетическим ресурсом, однако многие международные эксперты прогнозируют спад мировой добычи нефти после 2010 г. В связи с этим перспективы применения двигателей внутреннего сгорания в качестве силовых установок для автотранспортных средств, сельскохозяйственной техники и малой энергетики связаны с решением ряда проблем по замене нефтяных топлив альтернативными и уменьшению загрязнения окружающей среды выбросами токсичных веществ и парниковых газов.

К альтернативным, ненефтяным топливам относят топлива, получаемые из возобновляемых и невозобновляемых ресурсов. Топлива, полученные из растительного сырья, так называемые биотоплива, включают: этанол, метанол, диметиловый эфир, биогаз, биодизельное топливо, растительные масла.

В большинстве развитых стран действуют государственные программы по внедрению биотоплив. В США в 2003 году принят новый закон об энергетике, стимулирующий использование биотоплив. В Европе 8 мая 2003 г. принята Директива 2003/30/ЕС, согласно которой рекомендуется применять биодизельное топливо в чистом виде и биоэтанол в виде смесей с нефтяными топливами или добавок (например, этилтретбутиловый эфир — ЭТБЭ). К 2011 г. должно быть заменено 5,75% (по энергетическому содержанию) нефтяных топлив биотопливами.

На диаграмме, представленной на рис. 1, показан рост производства биотоплив в странах ЕС. В 2004 году количество произведенного биотоплива составило 2,1 млн т, из них дизельного топлива — 1,85 млн т. Применение биотоплив в Европе рассматривают как средство снижения зависимости от стран-экспортеров нефти, а также как способ существенного снижения выбросов парниковых газов.

Биодизельное топливо является продуктом переэтерификации растительных масел и представляет собой смесь метиловых или этиловых эфиров жирных кислот. Оно может использоваться в чистом виде, либо как смесь с обычным дизельным топливом в любых про-

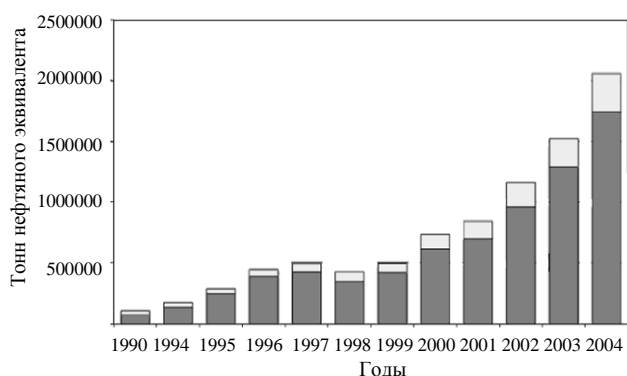


Рис. 1. Динамика использования биотоплив в странах ЕС:

■ — биодизельное топливо; □ — этанол

порциях. Сырьем для него служат растительные масла (рапсовое, соевое, подсолнечное, кукурузное, горчичное, пальмовое и др.), метанол и этанол.

Среди преимуществ биодизельного топлива следует отметить следующие. Биодизельное топливо получают из возобновляемых ресурсов, его химотологические свойства очень близки к нефтяному. Топливо обладает хорошими смазывающими свойствами и при проливах на почву быстро разлагается бактериями. При использовании биодизеля значительно снижаются выбросы парниковых газов, углеводородов, оксида углерода, сажи и канцерогенов; уменьшается дымность отработанных газов.

К недостаткам можно отнести высокую температуру застывания по сравнению с дизельным топливом, что вызывает проблемы при эксплуатации в зимнее время года. Биотопливо обладает свойствами растворителя и вымывает все отложения из топливной системы (возможна забивка фильтров, разрушение резины и пластмасс). Требуется более высокое давление впрыска и наблюдается некоторое (до 10—15%) увеличение выбросов оксидов азота.

Во ФГУП «НАМИ» были проведены экспериментальные исследования физико-химических свойств растительных масел и биотоплив на их основе и исследования влияния их применения на надежность деталей и узлов двигателя.

Исследования химического состава основных растительных масел, производимых в РФ: горчичного, рапсового, подсолнечного и соевого показали, что все масла содержат в основном олеиновую и линолевую кислоты в

сумме 60—80%, 10% пальмитиновой и 5% стеариновой кислоты. Результаты анализа состава приведены на гистограмме рис. 2.

Результаты анализа физических свойств масел сведены в табл. 1. Кинематическая вязкость измерялась на вискозиметре ВПЖ-2 по ГОСТ 33-2003. Все исследуемые масла имеют вязкость в 10 раз выше дизельного топлива, разница между подсолнечным, соевым и кукурузным маслами составляет около 7%, а вязкость рапсового и горчичного масла на 20% выше.

Таблица 1

Вязкость и температура вспышки растительных масел и нефтяного дизельного топлива

Масло	Кинематическая вязкость, мм ² /с	Температура вспышки, °С
Подсолнечное	63	243
Рапсовое	74,2	255
Соевое	64,1	243
Кукурузное	67,8	300
Горчичное	75,6	280
Дизельное топливо	3—6	62

Температура вспышки определялась по ГОСТ 6356-87. Для масел она находится в пределах 243—300 °С, для дизельного топлива по ГОСТ 305-82 — не ниже 62 °С. Анализ физико-химических свойств масел показал, что непосредственное их использование в качестве топлив для ДВС затруднено и требует доработки системы питания двигателя.

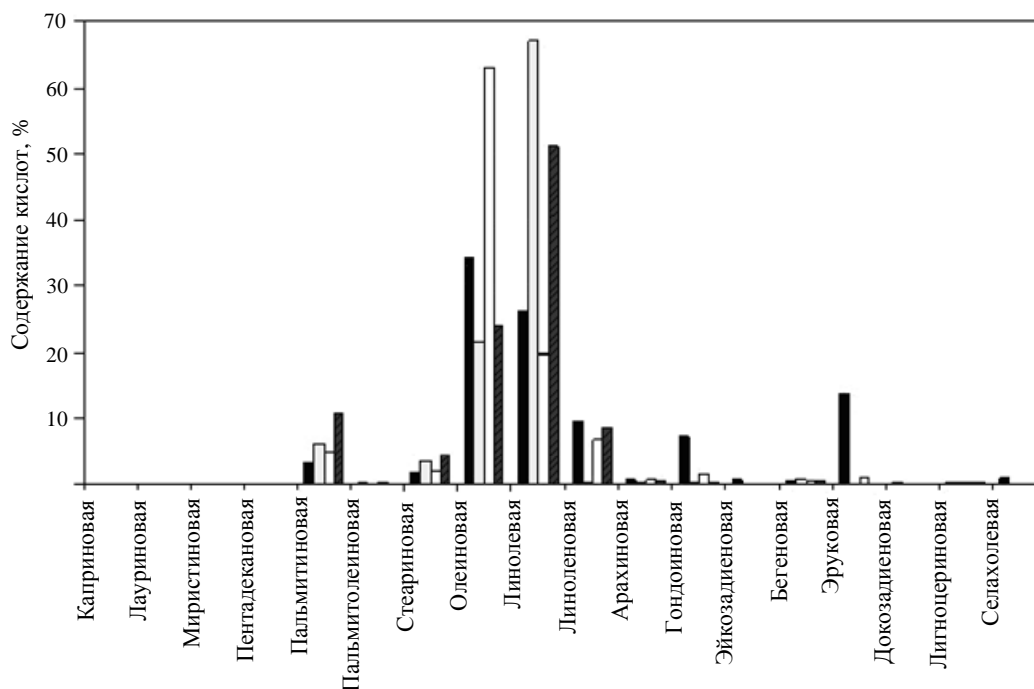


Рис. 2. Состав основных растительных масел, производимых в РФ:

■ — масло горчичное нерафинированное; □ — масло подсолнечное нерафинированное; □ — масло рапсовое рафинированное; ■ — масло соевое нерафинированное

Таблица 2

Характеристики дизельных топлив				
Показатель	ДТ (ГОСТ 305-82)	ÖNORM C1190 (Австрия)	Биодизель (DIN 51606) (Германия)	Биодизельное топливо (БИО ЭСТ)
Плотность ρ (20 °С), г/см ³	не более 0,86		0,872—0,887	0,887
Вязкость ν (20 °С), мм ² /с	3—6	6,5—8		7,3
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	42700			37200
Цетановое число	не менее 45	более 48		51
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	не ниже 62	более 100	более 100	173
Температура помутнения, °С	не выше -5			-3
Температура застывания, °С	не выше -10	менее -8		-5
Йодное число, г I ₂ /100 г				129,5
Содержание воды, мг/кг	нет		меньше 300 млн ⁻¹	300 мг/кг
Содержание фосфора, мг/кг		менее 50		9

Также были исследованы свойства биодизельного топлива из соевого масла (БИО ЭСТ), и проведено сравнение его свойств с российским стандартом на дизельное топливо ГОСТ 305-82, и европейскими стандартами на биодизельные топлива ÖNORM C1190 (Австрия) и DIN 51606 (Германия). По сравнению с нефтяным биодизельное топливо «БИО ЭСТ» имеет более высокую плотность и повышенную вязкость (повышенная вязкость уменьшает износ деталей двигателя и повышает давление впрыскивания). Результаты исследования сведены в табл. 2.

ФГУП «НАМИ» было проведено несколько испытаний биодизельных топлив из соевого («БИО ЭСТ») и подсолнечного («БИО ПН») масел, а также смесей этих топлив и растительных масел из разного сырья с дизельным топливом. Испытания проводились на стенде с вихрекамерным дизелем 2Ч 8,5/11. Некоторые результаты испытаний представлены ниже.

На графике рис. 3 видно, что при малом содержании подсолнечного масла (ПМ) в дизельном топливе (ДТ) уменьшается расход топлива. При увеличении нагрузки минимум смещается в сторону увеличения доли ПМ. При работе двигателя на смеси подсолнечного масла и дизельного топлива в пропорции 30:70 наблюдается значительное увеличение температуры отработанных газов, а также увеличение концентрации NO в выхлопных газах (табл. 3).

В результате сравнения показателей двигателя при работе на биодизельном топливе из соевого масла можно отметить уменьшение выбросов CO и CH, и увеличение выделения оксидов азота по сравнению с обычным дизельным топливом (табл. 4).

Сравнение двух биодизельных топлив из соевого и подсолнечного масла показало их существенное различие по некоторым параметрам. В биотопливе из подсолнечного масла было выявлено наличие метанола (0,5%) и глицерина, то есть качество данного топлива не соответствовало принятым стандартам. Результаты испытаний биотоплив можно увидеть в табл. 4.

После работы на различных видах топлива проводился контроль технического состояния двигателя. При работе двигателя на смесях дизтоплива и подсолнечного масла было замечено снижение дымности, но наблюдалось повышенное нагарообразование в камере сгорания и на распылителе. Наименьший слой нагара на распылителе наблюдается у двигателя, работавшего на биодизельном топливе. В этом случае нагар получился более рыхлым и лучше удалялся в процессе работы двигателя по сравнению с работой на нефтяном дизельном топливе. На экспериментальном двигателе были использованы штифтовые форсунки, которые не теряли своей работоспособности при любых видах топлива.

Применение биотоплив оказывает негативный эффект на другие элементы топливной системы. Это полимеризация отложений (в основном из-за длительного контакта с воздухом), мыльные отложения в топливной системе, забивание и коррозия топливных фильтров и топливной системы, изменения свойств масла (наблюдалось его разжижение). Внешний вид элементов топливной аппаратуры после работы на биотопливе при-

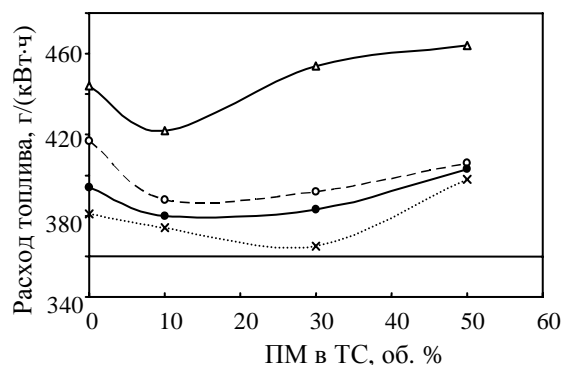


Рис. 3. Влияние массового содержания подсолнечного масла на расход топливной смеси при разной нагрузке дизельного двигателя:

Δ — 0,93 кВт; ○ — 1,4 кВт; ● — 1,64 кВт; × — 1,94 кВт

Таблица 3

Показатели работы дизельного двигателя на дизельном топливе и топливных смесях

Мощность двигателя 1,94 кВт, $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$

Показатель	ДТ	ПМ:ДТ = 30:70
Состав топлив		
Кислород, %	0,4	3,6
С/Н	6,9	6,7
Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч)*	374	366
Эффективный кпд, %	22,6	23
Температура отработанных газов, °С	311	571
NO _x , ppm	886	1028
CO ₂ , %	5,87	5,39

* Примечание: удельный расход топлива приведен к расходу дизельного топлива по теплоте сгорания

Таблица 4

Некоторые показатели работы двигателя на биодизельном и нефтяном топливе из соевого масла

Показатель	ДТ	БИО ЭСТ	Подсолнечное биотопливо
Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч)	349	337	374
Эффективный кпд, %	24,2	25	22,6
Температура отработанных газов, °С	289	289	302
Коэффициент избытка воздуха	2,1	2,16	1,76
NO _x , ppm	693	841	765
CO, %	0,036	0,021	0,0348
CH, %	0,24	0,0323	0,0577

веден на рис. 4—6 (по данным немецкой Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.v.).

Многие зарубежные фирмы занимаются специальной адаптацией своих двигателей для работы на чистом биодизельном топливе. Например, следующие фирмы уже начали выпуск адаптированных дизельных двигателей: легковые автомобили — VW, Audi, Seat, Skoda, грузовики и автобусы — DaimlerChrysler, MAN, сель-

скохозяйственная техника и тракторы — SameDeutz-Fahr, AGCO, John Deere, Fendt, Case, Massey-Ferguson, Steyr.

На смесях с добавкой биодизельного топлива до 5% могут работать все выпускаемые и ввозимые в Европу автомобили и сельхозтехника.



Рис. 4. Отложения полимеров на деталях

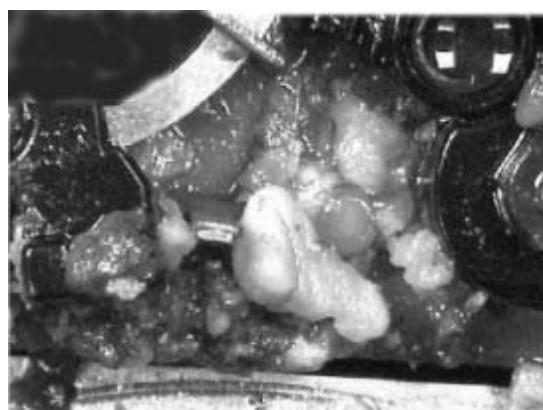


Рис. 5. Мыльные отложения в топливной системе

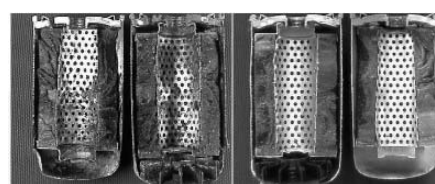


Рис. 6. Коррозия топливного фильтра

Кроме того во ФГУП «НАМИ» был проведен анализ эффективности применения нефтяных и биотоплив в дизелях многоцелевого назначения в полном жизненном цикле (включая стадии выращивания биосырья, получения биотоплива и его сжигания в двигателе) по методике, изложенной в [1, 2]. Показано, что применение биодизельного топлива является эффективным способом снижения расхода невозобновляемых природных ресурсов и выбросов парниковых газов, а также позволяет снизить затраты на полный жизненный цикл дизельных двигателей с учетом ущерба.

Применение биодизельного топлива в сравнении с нефтяным дизельным топливом в полном жизненном цикле позволяет снизить расход невозобновляемых природных ресурсов на 55—65%; уменьшить выбросы парниковых газов в 3,5—4,6 раза; снизить ущерб окружающей среде на 15—16%; уменьшить затраты с учетом экологического ущерба на 40%.

В то же время применение биодизельного топлива связано с увеличением затрат энергии в полном жизненном цикле на 10—20% по сравнению с дизельным топливом.

Анализ зарубежного опыта, а также исследования, проведенные ФГУП «НАМИ», позволяют заключить, что биодизельное топливо представляет интерес как реальная перспектива частичной замены нефтяного

дизельного топлива, без необходимости создания новой инфраструктуры заправочных станций и кардинального изменения двигателей внутреннего сгорания.

Однако для успешного освоения этого вида топлива необходима государственная поддержка производителей биотоплив и растительного сырья, двигателей, хозяйств, осваивающих использование этого вида топлива. Также необходимо продолжение научно-технических работ по дальнейшему изучению эффекта от применения биотоплив и адаптации существующего технического парка под биодизельные топлива. Требуется разработка и принятие стандартов на биодизельное топливо, что защитит их потребителей от некачественной продукции и преждевременного выхода из строя двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звонов В.А., Козлов А.В., Кутнев В.Ф. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле. М.: НАМИ, 2001, 248 с.
2. Звонов В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Методика оценки эффективности применения альтернативных топлив на автотранспорте в полном жизненном цикле. Сб. науч. тр. Моск. семинара по газохимии 2004—2005. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2006, с. 114—129.

ABSTRACTS

World Oil and Gas Resources and Their Development. V. I. Vysotsky, A. N. Dmitriyevskiy. *Ross. Khim. Zhurn.* (Zhurn. Ross. Khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2008, v. 52, № 6.

World recoverable HC resources are estimated at 554.7 billion tons oil and 634.3 trillion m³ gas. Reserves to resources ratio as of the beginning of 2008 is 62% for oil and 45% for gas. Oil reserves to resources ratios are the highest in the Near and Middle East and the lowest in FSU countries. Remaining proved reserves are 188.6 billion tons oil and 179.4 trillion m³ gas. Reserves to production ratios are 46 years for oil and 52 years for gas. Recently performed oil and gas production forecast is based on initial total oil and gas resource estimates, reserves to resources and resource depletion ratios, and remaining reserves and unexplored resource estimates. 2030 production is estimated at 5300 MMt oil and 4390 Bm³ gas.

Crude oil prices: retrospective, forecast and influence on the economy. O. B. Braginsky. *Ross. Khim. Zhurn.* (Zhurn. Ross. Khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2008, v. 52, № 6.

The role of the crude oil as a factor of global economy progress is discussed. Different pricing systems in the crude oil sector and the dynamics of the world crude oil prices are reviewed, including the analysis of various factors, which have an effect on the crude oil prices. The methodology of oil price forecast and different hypotheses of prospective prices are presented.

General priorities in development and economic peculiarities of Russian oil refining industry. A. V. Borodacheva, M. I. Levinbuk. *Ross. Khim. Zhurn.* (Zhurn. Ross. Khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2008, v. 52, № 6.

Russian oil refining sector is characterized by low degree of oil conversion (71,7%) in comparison with USA and Western Europe refineries, and accordingly the considerable share fuel oil production (27,5% mass.) and low lights products yields (on the average 50% mass.). Herewith all Russian products disagree the world quality standards. The Russian taxing policy of oil refining sector does not stimulate the modernization of Russian oil refineries and provides only current profitability of oil semi-finished products realization on export and local markets.

The modern state of technologies for production of liquid fuels from coal. A. S. Maloletnev, M. Ya. Shpirt. *Ross. Khim. Zhurn.* (Zhurn. Ross. Khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva), 2008, v. 52, № 6.

The modern trends of liquid fuels production from coal with Fischer—Tropsch gasification processes and the direct hydrogenation in Russia and foreign countries are discussed. Results of the latest investigations of the coal hydrogenation under low hydrogen pressure (6—10 MPa) with highly dispersed pseudo-homogeneous catalysts and the following hydrogenation treatment of coal distillates leading to ecologically safe motor fuels, conducted in Fossil Fuel Institute, are presented.