

А. П. Поляков, д. т. н., проф.; А. А. Галушак; Д. А. Галушак;
К. В. Нгаяхи Аббе

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМЫХ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПЕРЕВОДЕ ЕГО НА РАБОТУ НА БИОДИЗЕЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

Проанализированы физико-химические свойства биотоплива и рассмотрено его влияние на рабочие процессы двигателя. Предоставлены конструктивные предложения по изменениям и по настройке элементов системы питания дизельного двигателя при переводе его на работу на биодизельном топливе для сохранения необходимого уровня технико-экономических и экологических показателей.

Ключевые слова: дизельный двигатель, дизельное топливо, биодизельное топливо.

Введение

Проблема использования альтернативных источников энергии из восстанавливаемого сырья становится все более актуальной для современного общества и из-за энергетического кризиса, и из-за экологии, поэтому биодизельное топливо получаем все более широкое применение [1]. Оно является восстанавливаемым источником энергии из растительных масел. Биодизельное топливо, с химической точки зрения, представляет собой метиловый эфир, который является экологически чистой альтернативой жидкому топливу и может быть использован в любом дизельном двигателе без изменений [2]. Однако отметим, что при переводе дизельного двигателя на работу на биодизельном топливе возникают изменения в характере рабочего процесса двигателя. В основном наблюдали изменения таких характеристик, как: мощность двигателя, крутящий момент и цикличная подача.

Анализ последних исследований и публикаций

Сегодня вопросами о переводе дизельного двигателя на работу на биодизельном топливе занимаются много организаций.

Фирмой «Bosch» разработаны модернизированные топливные насосы высокого давления (ТНВД) моделей MW и P, которые позволяют переходить от одного вида топлива к другому [4]. Эти виды ТНВД имеют ограничение при переводе их с бензина на керосин, а также на биоэтанол. Планируется также разработка таких систем для биодизельного топлива (добавление его до 5 %).

Фирма «Bosch» также разработала систему управления под названием «Bosch NG-Motronic» для управления рабочими процессами при переводе дизельного двигателя на биогаз [5].

Исследователи университета Пердью [6] разработали систему управления для уменьшения удельного расхода топлива и эмиссии оксидов азота (NO_x) при применении смеси обычного топлива с биодизельным топливом. Система оценивает физические свойства топлива: датчики считывают их свойства и по алгоритмам, в зависимости от состояния смеси, автоматически корректируют время и способ впрыскивания топлива, а также определяют состояние отработанных газов. Однако система не учитывает и не корректирует показатели мощности и крутящего момента двигателя. Изменения вносят только на настройки двигателя, а на конструктивном уровне изменения не рассматривают.

Физико-химические свойства биодизельного топлива

Наличие биодизельных топлив разного происхождения приводит к тому, что их характеристики несколько отличаются, это обусловлено разным химическим составом метилового и этилового эфиров и несколько различными физическими свойствами.

Биодизельное топливо имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным дизельным топливом, среди которых можно отметить: малотоксичность (биодизельное топливо содержит токсические вещества в незначительном количестве); температура загорания выше, чем у обычного топлива, что обеспечивает его более безопасную эксплуатацию, однако осложняет воспламенение горючей смеси; лучшие смазывающие свойства, которые могут продлить срок службы двигателя. Результаты испытаний [3] показывают, что даже добавление биодизельного топлива к обычному дизельному топливу в количестве менее 1% может обеспечить до 30% увеличения качества смазывания.

К недостаткам биодизельного топлива относится высокая температура помутнения, испарения и застывания, что осложняет его использование в холодный период.

Данные о физико-химических свойствах некоторых эфиров масел, которые используются в качестве биотоплива, и о свойствах дизельного топлива приведены в таблице 1 [8].

Таблица 1

Физико-химические свойства сложных эфиров масел, которые используются в качестве биотоплива и дизельного топлива

Эфир масла	Цетановое число	Средняя теплота сгорания (Дж/кг)	Кинематическая вязкость (40°C, мм ² /с)	Температура застывания (°C)	Температура помутнения топлива (°C)	Наименьшая температура испарения (°C)
Кокосовый						
Этил	67,4	38158	3,08	5	-3	190
Кукурузный						
Метил	65	38480	4,52	-3,4	-3	111
Оливковый						
Метил	61	37287	4,70	-2	-3	>110
Горчичный						
Этил	54,9	40679	5,66	1	-15	183
Пальмовый						
Этил	56,2	39070	4,50 (37,8 °C)	8	6	193
Рапсовый						
Метил	56	37300	4,53	-6		169
Метил	53,7	8850	4,96	-6		
Метил	47,9	39870	4,76	-3	-9	166
Этил	67,4	40663	6,02	1	-12	170 (4)
Дизельное топливо	47-55	45300-46700	1,9 – 3,8	(-17) – (-8)	(-36) – (-30)	52– 77

Анализ влияния физико-химических свойств биодизельного топлива на рабочие процессы дизельного двигателя

Цетановое число. Растительные масла являются липидами, эфирами жирных кислот или глицерином. Имея высокие теплообразовательные свойства, они содержат прямые углеводородные цепи, что обуславливает их относительно высокое цетановое число. Это обеспечивает лучшее сгорание топлива.

Наименьшая температура испарения. У биодизельного топлива достаточно большая температура испарения, это осложняет его использование при низких температурах. Можно допустить, что применение топлива с высокой температурой испарения может увеличить задержку воспламенения и, следовательно, длительность сгорания топлива. Это может привести к неполному сгоранию топлива и, соответственно, к увеличению дымности.

Средняя теплота сгорания. Энергетическая ценность биодизельного топлива хуже обычного дизельного топлива из-за меньшей средней теплоты сгорания, что приводит к уменьшению мощности и крутящего момента, однако это можно компенсировать увеличением цикличной подачи топлива. Для этого нужно дольше его впрыскивать и сжигать.

Кинематическая вязкость. В работе [7] представлена экспериментальная зависимость между изменением вязкости топлива и средним диаметром капель при распылении. Эмпирическую формулу (1) представим в виде:

$$\frac{d}{d_{ex}} = \left(\frac{v}{v_{ex}} \right)^{0,5}, \quad (1)$$

где d_{ex} – известный средний диаметр капли при кинематической вязкости v_{ex} ; d – средний диаметр капель в случае, когда кинематическая вязкость равна v .

В соответствии с формулой (1) высокая кинематическая вязкость биодизельного топлива приводит к увеличению размера капель топлива при распылении.

Если принять, что средняя кинематическая вязкость дизельного топлива составляет 2,85 мм²/с, а пальмового эфира – 4,5 мм²/с, и подставить эти значения в формулу (1), получим:

$$\frac{d}{d_{ex}} = \left(\frac{4,5}{2,84} \right)^{0,5} = 1,3.$$

Этот результат означает, что при переводе на работу на биодизельном топливе при таких же условиях как в эксперименте [7] получим капли в 1,3 раза больше, чем у дизельного топлива, что приведет к затруднению горения топлива и, соответственно, к неполному сгоранию.

При переводе на работу на биодизельном топливе длительность горения зависит от цетанового числа, наименьшей температуры испарения, средней теплоты сгорания и кинематической вязкости. Из этих факторов единственным, который позволяет снизить длительность горения, является цетановое число. Однако, поскольку остальные параметры оказывают существенное влияние на увеличение длительности сгорания, необходимо обеспечить большее количество времени для впрыскивания, испарения и сгорания топлива. Это можно осуществить путем увеличения угла опережения впрыскивания коленчатого вала.

Анализ конструктивных и настроечных изменений в элементах системы питания дизельного двигателя при переводе его на работу на биодизельном топливе

Для обеспечения необходимых технико-экономических и эксплуатационных характеристик дизельного двигателя при переводе его на работу на биодизельном топливе возможны такие изменения:

- модернизация ТНВД для обеспечения большего давления впрыскивания топлива;
- модернизация форсунок для обеспечения впрыскивания большего количества топлива и увеличения дальнобойности распыления более густого и вязкого топлива: увеличение количества отверстий, увеличение диаметров отверстий;
- установка более раннего угла опережения впрыскивания топлива для обеспечения полного сгорания топлива;

– установка устройств подогрева топлива для уменьшения вязкости биодизельного топлива.

Модернизация ТНВД.

Увеличение давления впрыскивания топлива обеспечит увеличение дальности и количества впрыснутого топлива, соответственно должна увеличиться мощность.

Хироясу предложил общую формулу для расчета дальности в конце впрыскивания:

$$S = 0,39 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}} \cdot t, \quad (2)$$

где ΔP – величина снижения давления в отверстии сопла форсунки; t – длительность впрыскивания; ρ_f – плотность топлива.

Рассмотрев эту формулу, можно сделать вывод о том, что высокое давление открытия сопла обеспечивает рост дальности при впрыскивании топлива. Поскольку плотность дизельного топлива не значительно отличается от плотности биодизельного топлива, то дальность почти не изменится от этого параметра.

Модернизация форсунок.

Большое количество исследований показали, что размер отверстия форсунки влияет на такие параметры, как: дальность, качество распыления топлива.

Топливо должно быть раздроблено на мельчайшие капли, равномерно распределено в воздушной среде камеры сгорания. Тонкость распыления имеет большое значение при переводе двигателя на работу на биотопливо. Установлено, что качество распыления улучшается при увеличении скорости струи в результате повышения давления впрыскивания, с увеличением давления воздуха, сжатого в камере сгорания, при переходе к меньшим диаметрам сопловых отверстий форсунки. В процессе впрыскивания необходимо стремиться к образованию мелких капель топлива, которые в то же время были способны глубоко проникать по всем направлениям в среде сжатого воздуха в камере сгорания. Проникновение капель в среду сжатого воздуха зависит от дальности струи топлива. При сниженной дальности струи капли топлива не могут проникнуть в наиболее отдаленные участки камеры сгорания: происходит неполное сгорание, удельный расход топлива возрастает, мощность двигателя снижается. Таким образом, можно допустить, что при переводе дизельного двигателя на работу на биодизельном топливе за счет меньшей степени воспламенения, большой вязкости нужно будет обеспечить достаточно высокое давление впрыскивания и уменьшение диаметра капель топлива. Это приведёт к изменению количества сопел и диаметров отверстий распылителей форсунок.

Рассмотрим математическую модель, предложенную Дентом и другими исследователями, которая позволяет определить глубину проникновения струи топлива в конце распыления.

$$S = (v_{inj} d_0)^{0,5} \left(\frac{294,4}{T} \right)^{0,25}; \quad (3)$$

$$d_0 = d_{inj} \frac{\rho_f}{\rho_a}, \quad (4)$$

где v_{inj} – объем впрыскиваемого топлива в конце впрыскивания; d_{inj} – диаметр отверстия форсунки; ρ_f – плотность топлива; ρ_a – плотность воздуха; T – температура.

Из формулы можно увидеть, что дальность распыления прямо пропорциональна диаметру отверстия форсунки. В связи с этим можно сделать вывод о том, что для обеспечения нужной дальности впрыскиваемого биодизельного топлива, надо рассчитать необходимый диаметр отверстия форсунки. С уменьшением размера отверстия форсунки дизельного двигателя повышаются длительность и давление впрыскивания,

количество выделенного оксида азота NO_x тоже повышается. Оптимальная конструкция сопла форсунки будет такая, при которой происходит максимально полное сгорание топлива.

Установление более раннего угла опережения впрыскивания топлива.

Изменение угла опережения не является изменением в конструкции дизельного двигателя, это лишь изменение его настройки, которая обеспечивает его более эффективную работу. Исходя из теоретических основ организации управления рабочими процессами дизельного двигателя при переводе его на работу на биодизельном топливе, необходимо установить более ранний угол опережения впрыскивания для обеспечения полноты сгорания биодизельного топлива при его использовании в качестве топлива для дизельного двигателя (предоставить больше времени на впрыскивание, испарение и воспламенение топлива).

Установка устройств подогрева топлива.

Одной из основных проблем, возникающих при работе двигателя на биодизельном топливе, является высокая вязкость топлива. Она влияет на производительность системы подачи топлива, в частности на функционирование топливного насоса, топливных фильтров и образование топливно-воздушной смеси [9]. Исследования показали, что подогрев биодизельного топлива улучшает характеристики, связанные с высокой вязкостью. Подогреватель позволяет использовать биодизельное топливо в холодное время года и обеспечивает одинаковые характеристики вязкости, несмотря на перепады температур.

Выводы

При переводе дизельного двигателя на работу на биодизельном топливе необходимо учитывать разные физико-химические свойства топлив. Эта разница свойств будет проявляться в изменении мощности и крутящего момента, в изменении расхода топлива, в изменении качественных и количественных характеристик вредных веществ в отработанных газах, в изменении теплового режима двигателя и т. п. К преимуществам биодизельного топлива можно отнести такие характеристики: низкую токсичность; большую безопасность (за счет более высокой температуры загорания); лучшие смазочные свойства; высокое цетановое число. К недостаткам можно отнести: высокую кинематическую вязкость; высокую температуру испарения, помутнения и застывания; низкую среднюю теплоту сгорания.

Для сохранения или улучшения эксплуатационных показателей двигателя при переводе его на работу на биодизельном топливе необходимо провести некоторые изменения, это может быть:

- увеличение давления впрыскивания топлива путем модернизации ТНВД;
- увеличение количества отверстий и (или) увеличение диаметров отверстий форсунок;
- установка более раннего угла опережения впрыскивания топлива;
- установка устройств для подогрева топлива.

В дальнейшем будут проведены исследования каждого из вариантов модернизации двигателя и определены количественные характеристики эксплуатационных показателей при этих изменениях. После чего уже можно будет дать объективную оценку необходимых изменений в настройке и конструкции двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Р. Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 1: биодизель / Р. Г. Васильев // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 47 – 54.
2. Demirbas Ayhan. Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines / Ayhan Demirbas. – London: Springer-Verlag London Ltd., 2008. – 208 p.
3. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union [Электронный ресурс] / Режим доступу: <http://www.cti2000.it/Bionett/BioD-2005-101%20Biodiesel%20in%20the%20EU.pdf>.

4. Bosch. Системы управления дизельными двигателями / Bosch. – Издательство: За рулем, 2004. – 480 с.
5. Bosch. Bosch develops injection technology for alternative fuels Focus on mobility that conserves resources. [Электронный ресурс] / Режим доступа : <http://www.bosch-presse.de/presseforum/pressdownload/text/PI5170.pdf?id=2598,2>.
6. Purdue University. Advanced engine-control system reduces biodiesel fuel consumption and emissions. [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.purdue.edu/newsroom/research/2010/story-print-deploy-layout_1_3270_3270.html.
7. Power and Torque Characteristics of Diesel Engine Fuelled by Palm-Kernel Oil Biodiesel [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://ijs.academicdirect.org/A14/066_073.pdf.
8. An Experimental Study on Diesel Engine Performances Using Crude Palm Oil Biodiesel [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.google.ru/url?q=http://www.jgsee.kmutt.ac.th/see1/cd/file/C-008.pdf&sa=U&ei=sBpYUJiwBYjasgaz3YCgAg&ved=0CBMQFjAA&usg=AFQjCNEUZac3Kwc0Y12hK12hDTuMkRGL7A>.
9. Graboski & McCormick. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines / Graboski & McCormick // Progress in Energy and Combustion Science. – 1998. – Volume 24. – № 2. – P. 125 – 164.

Поляков Андрей Павлович – д. т. н., профессор, декан факультета автомобилей их ремонта и возобновления.

Галушак Александр Александрович – ст. гр. АТМ-11МН.

Галушак Дмитрий Александрович – ст. гр. АТМ-11МН.

Нгаяхи Аббе Клод Валери – аспирант кафедры АТМ.

Винницкий национальный технический университет.