

УЛУЧШЕНИЕ СМЕСЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С РАПСОВЫМ МАСЛОМ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЯХ

С.А. Плотников, д.т.н., проф., А.Н. Карташевич, д.т.н., проф., П.Н. Черемисинов, аспирант
Вятский государственный университет

Проведены лабораторные исследования физико-химических свойств дизельных топлив с добавками рапсового масла. Разработан состав топливной композиции с улучшенными эксплуатационными свойствами, обладающий патентной новизной. Проведены стендовые испытания тракторного дизеля при работе на дизельном топливе и топливах с добавками рапсового масла. Определены регулировочные, экономические и эффективные показатели дизеля.

Творческим коллективом ученых Вятского государственного университета (ВятГУ) и Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (БГСХА) длительное время проводятся исследования работы автотракторных дизелей на дизельном топливе (ДТ) с добавками топлив биологического происхождения — растительных масел (РМ), этанола (Э), генераторного газа (ГГ), биогаза (БГ) [1–4].

Использование в двигателях тракторов и автомобилей рапсового масла в чистом виде накладывает некоторые ограничения [1–6]. Обязательным является высокая идентичность физико-химических свойств смеси дизельного топлива. Рабочие характеристики агрегатов топливной системы в целом должны оставаться неизменными или быть в пределах допустимых регулировок топливной аппаратуры. Надежность и ресурс работы системы питания также должны быть соизмеримы с аналогичными для серийной системы условиями.

Первоначально методом капиллярной газовой хроматомасс-спектрометрии была выполнена оценка жирнокислотного состава различных образцов РМ холодного отжима, произведенных в России и странах СНГ. Хроматомасс-спектрометрия проводилась на газовом хроматомасс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus («Shimadzu», Япония).

Полученные масс-спектры были интерпретированы с помощью программного обеспечения, которое дает возможность подбора и сравнения максимально сходимых масс-спектров из элек-

тронных библиотек с экспериментально полученными масс-спектрами. Данные были нормализованы и сведены в табл. 1. На основе полученных результатов был установлен образец РМ, позволяющий (предположительно) обеспечивать наибольшую скорость и полноту сгорания впрыснутого в цилиндр дизеля смеси топлива (табл. 1) — образец № 3. Отмеченный образец РМ был использован в дальнейших исследованиях.

Основной проблемой применения РМ является высокая, по сравнению с ДТ, вязкость. С целью ее снижения было оценено несколько присадок различных классов на основе сложных виниловых эфиров, ненасыщенных кетонов, эфиров и амидов ненасыщенных кислот. В ходе исследований было установлено, что снижение кинематической вязкости смесей РМ и ДТ до 22 % возможно путем введения депрессорных присадок (табл. 2) [7]. В дальнейших исследованиях использовались различные составы смесевых топлив с уже выбранными ингредиентами [8].

Для оценки влияния смесевых видов топлива на основе рапсового масла на показатели работы дизеля 4СН11,0/12,5 (Д-245.5S5) были проведены экспериментальные исследования на электротормозном стенде SAK N670 (Германия) с балансирной маятниковой машиной. На рис. 1 представлен общий вид стенда с установленным дизелем. Крутящий момент на коленчатом валу дизеля измерялся с помощью динамометрического устройства, входящего в состав нагрузочного стенда. Массовый расход топлива определялся элек-

Таблица 1

Жирнокислотный состав образцов рапсового масла

Название кислоты	Число атомов углерода	Число двойных связей	Содержание в образце масла, %масс.	
			Образец № 12	Образец № 3
Пальмитиновая	16	Нет	1,01	4,72
Маргариновая	17	Нет	—	0,19
Стеариновая	18	Нет	0,68	1,65
Олеиновая	18	1	91,34	64,74
Линолевая	18	2	—	18,71
Арахиновая	20	Нет	—	0,32

Таблица 2

Кинематическая вязкость смесей на основе дизельного топлива и рапсового масла [6]

Содержание рапсового масла в смеси, %	Без присадки			С присадкой в количестве 5%		
	15	25	50	15	25	50
Кинематическая вязкость, мм ² /с	6,90445	8,81833	19,39065	6,27598	8,28081	18,42116

тронным расходомером АИР-50. Значение установочного угла опережения впрыска топлива определялось по мениску.

На рис. 2 представлены регулировочные характеристики дизеля 4ЧН11,0/12,5 при работе на ДТ и смесях ДТ с РМ при различных значениях угла опережения впрыска топлива и номинальной частоте вращения коленчатого вала $n = 1800$ об/мин.

Из данных рис. 2 видно, что при работе на чистом ДТ оптимальный установочный угол опережения впрыска $\theta_{впр} = 26^\circ$, что соответствует руководству по эксплуатации дизеля. При этом эффективная мощность дизеля составляет 70,2 кВт, а значение удельного эффективного расхода топлива 235 г/кВт·ч. Значение эффективного КПД, учитывающего теплотворную способность топлива, также максимально и составляет $\eta_e = 36\%$.

При работе дизеля на смесях ДТ и РМ характер кривых несколько изменяется. Так, значения часового расхода топлива увеличиваются от 16,5 кг/ч при работе дизеля на чистом ДТ, до 17,3 кг/ч и 17,5 кг/ч при работе дизеля с содержанием РМ в смеси 25 и 45 % соответственно. Увеличение расхода топлива вызвано снижением нижней теплотой сгорания смесевое топлива. Значения удельного эффективного расхода топлива также возрастают и составляют 247,2 и 255,6 г/кВт·ч соответственно, для случаев содержания 20 и 45 % РМ в смесевом топливе. При этом минимум g_e сдвигается в сторону более

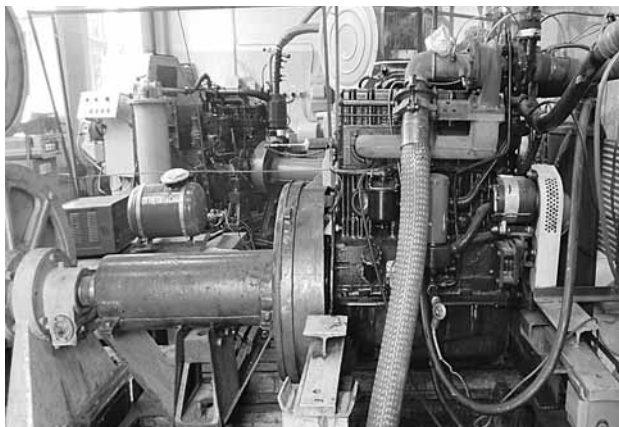


Рис. 1. Общий вид моторного стенда дизелем 4ЧН11,0/12,5 (Д-245.5S5)

поздних углов опережения впрыска топлива и составляет $\theta_{впр} = 25$ и 24 град ПКВ до ВМТ соответственно для случаев содержания 20 и 45 % РМ в смесевом топливе. Максимальные значения эффективной мощности и эффективного КПД изменяются незначительно в сравнении с работой дизеля на чистом ДТ, и также сдвигаются в сторону поздних углов опережения впрыска топлива. Учитывая конструктивную сложность установки данных значений угла для топливного насоса 4УТНМ, в дальнейших испытаниях было принято значение $\theta_{впр} = 26^\circ$ для всех исследуемых составов смесевых топлив.

На рис. 3 и 4 представлены нагрузочные, а на рис. 5 — скоростные характеристики дизеля 4ЧН11,0/12,5 при работе на ДТ и с добавками РМ.

Как видно из графика (рис. 3), во всем диапазоне изменения нагрузки растет суммарный часовой расход топлива при работе на смесях ДТ и РМ. Так, при нагрузке $p_e = 0,3$ МПа и работе на ДТ, $G_{ДТ} = 7,22$ кг/ч, а при работе на смесях с содержанием РМ 20 и 45 % он равен соответственно, $G_{ДТ20} = 6,18$ кг/ч и $G_{ДТ45} = 7,93$ кг/ч. При этом расход ДТ в смеси снижается на 27,15 и 37,26 %. Удельный эффективный расход топлива также увеличивается: для чисто ДТ $g_{e\min ДТ} = 214,6$ г/кВт·ч, а при работе на смесях с содержанием РМ 20 и 45 % $g_{e\min РМ20} = 226,7$ и $g_{e\min РМ45} =$

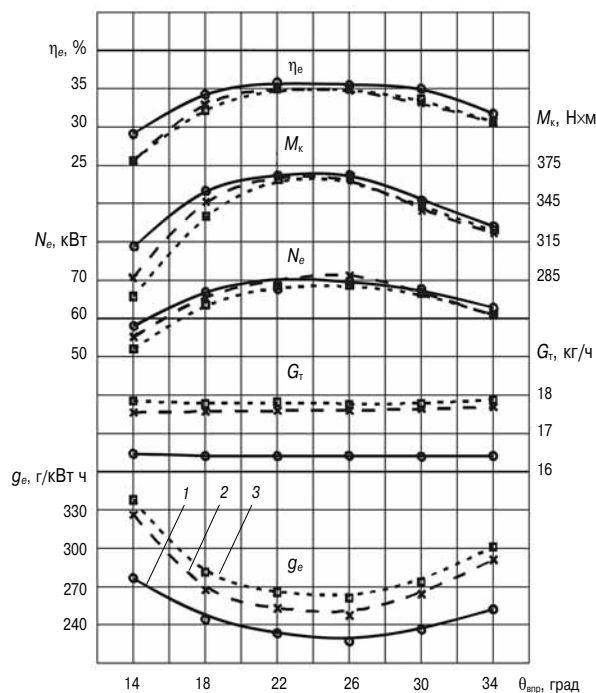


Рис. 2. Регулировочные характеристики дизеля 4ЧН11,0/12,5 при $n = 1800$ об/мин:

1 — дизельное топливо; 2 — 25 % рапсового масла в топливе; 3 — 45 % рапсового масла в топливе

= 234,2 г/кВт·ч. Увеличение удельного эффективного и часового расходов топлива объясняется снижением теплоты сгорания смесового топлива. Значение эффективного КПД топлива при работе дизеля на смесовом топливе снижается незначительно относительно уровня, характерного для работы дизеля на чистом ДТ. Минимум удельного эффективного расхода топлива при работе дизеля на смесях ДТ и РМ сдвигается в сторону меньших нагрузок. Если при работе на ДТ $g_{e \min}$ ДТ достигается при $p_e = 0,7$ МПа, то при работе на топливе с добавкой 20 и 45 % РМ он соответствует $p_e = 0,66$ и $p_e = 0,69$ МПа. Очевидно, что добавка РМ изменяет характер протекания процесса смесеобразования и, как следствие, — процесса сгорания топлива.

На рис. 4 представлена нагрузочная характеристика дизеля при частоте вращения $n = 1400$ об/мин, соответствующей режиму максимального крутящего момента. Характер изменения эффективных показателей дизеля не изменяется, но представлен более отчетливо.

Суммарный часовой расход топлива при работе на смесях ДТ и РМ также возрастает во всем диапазоне изменения нагрузки. При $p_e = 0,9$ МПа и работе на ДТ часовой расход топлива равен $G_{ДТ} = 10,27$ кг/ч, а при работе на смесях с содержанием РМ 20 и 45% он равен, соответственно, $G_{РМ20} = 10,45$ и $G_{РМ45} = 10,65$ кг/ч. При этом снижение расхода ДТ в смеси составляет 18,21 и 42,55%.

Удельный эффективный расход топлива также увеличивается: для чисто дизельного топлива $g_{e \min ДТ} = 207,2$ г/кВт·ч, а при работе на смесях с содержанием РМ 20 и 45% $g_{e \min РМ20} = 214,3$ г/кВт·ч и $g_{e \min РМ45} = 221,5$ г/кВт·ч.

На частоте вращения коленчатого вала дизеля вращения $n = 1400$ об/мин заметно снижение эффективного КПД. Так, при работе на чистом ДТ максимум эффективного КПД равен $\eta_{e \max ДТ} = 38,7 \%$, а при работе с добавкой 20 и 45 % РМ эти значения равны $\eta_{e \max РМ20} = 36,8 \%$ и $\eta_{e \max РМ45} = 37,9 \%$.

Минимум удельного эффективного расхода топлива и максимум эффективного КПД при работе дизеля на смесях ДТ и РМ также сдвигается в сторону меньших нагрузок. Так, если при работе на ДТ $g_{e \min}$ и $\eta_{e \max}$ достигается при $p_e = 0,9$ МПа, то при работе на топливе с добавкой 20 и 45% рапсового масла эти значения нагрузки, соответственно, равны $p_e = 0,8$ МПа.

Влияние рапсового масла в смесовом топливе на изменение эффективных показателей дизеля было рассмотрено также при работе дизеля по скоростным характеристикам на номинальной нагрузке (рис. 5).

Из графиков видно, что работа дизеля на смесях ДТ и РМ вызывает некоторое изменение его эффективных показателей. Так, значения эффективной мощности, крутящего момента и эффективного КПД снижаются в сравнении с аналогичными характеристиками для ДТ. Сни-

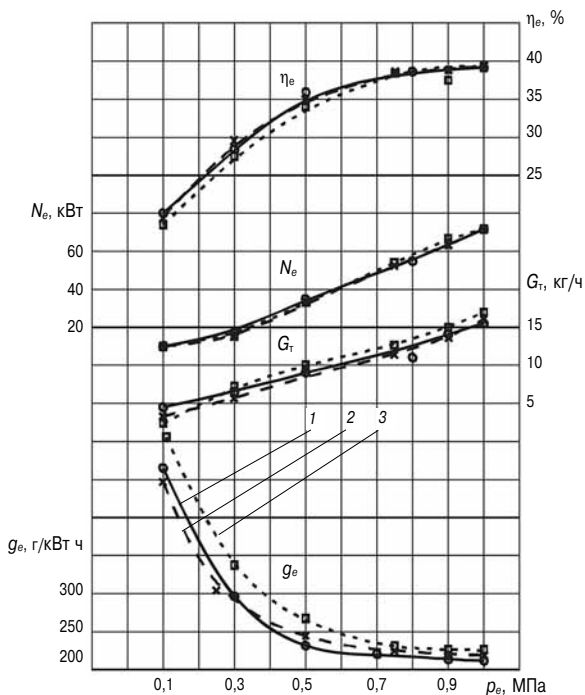


Рис. 3. Нагрузочные характеристики дизеля 4ЧН11,0/12,5 при $n = 1800$ об/мин:
1 — дизельное топливо; 2 — 25 % рапсового масла в топливе;
3 — 45 % рапсового масла в топливе

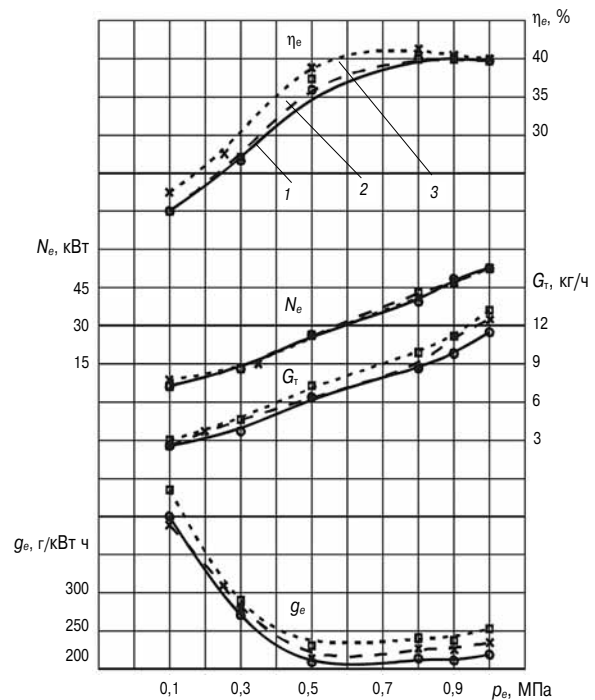


Рис. 4. Нагрузочные характеристики дизеля 4ЧН11,0/12,5 при $n = 1400$ об/мин:
1 — дизельное топливо; 2 — 25 % рапсового масла в топливе;
3 — 45 % рапсового масла в топливе

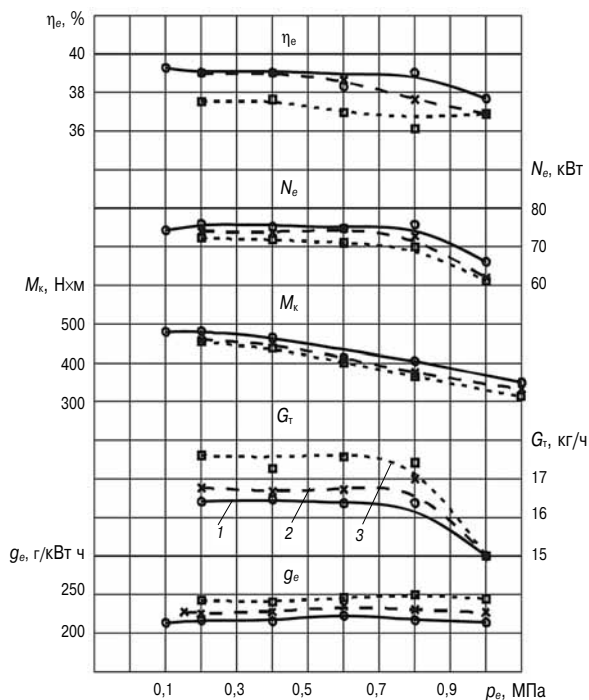


Рис. 5. Скоростные характеристики дизеля 4ЧН11,0/12,5: 1 — дизельное топливо; 2 — 25 % рапсового масла в топливе; 3 — 45 % рапсового масла в топливе

жение КПД составляет 3,86 % при содержании 20 % РМ и 7,20 % при содержании 45 % РМ в смеси топлива.

Снижение эффективной мощности и крутящего момента дизеля составляет 1–3,56 % во всем диапазоне частот вращения при работе с добавкой 20 % РМ. В то же самое время при добавке РМ до 45 % эти значения составляют 3,44–7,38 %. Все это однозначно объясняется снижением нижней теплоты сгорания смеси топлива.

Часовой расход самого ДТ при работе на топливах с добавками РМ уменьшается во всем диапазоне изменения частот вращения.

Минимум удельного эффективного расхода топлива несколько смещается в сторону больших частот вращения, так как присутствие рапсового масла в топливе утяжеляет фракционный состав смеси, увеличивает значение потребной вихреобразующей способности впускного тракта.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. В ходе эксперимента была получена информация о качественном и количественном составе сложных смесей летучих органических соединений.

2. Снижение кинематической вязкости топлив на основе рапсового масла до 22 % возможно путем введения депрессорных присадок.

3. При работе дизеля на топливах с добавками рапсового масла оптимальным установочным углом опережения впрыскивания следует считать угол $\theta_{впр} = 26^\circ$.

4. Работа дизеля с добавками 20 и 45% рапсового масла позволяет сократить расход ДТ до 18,21 и 42,55 % соответственно. При этом в зависимости от режима работы дизеля, значения эффективной мощности и эффективного КПД остаются на уровне, характерном для работы дизеля на чистом ДТ или снижаются на более чем на 8 %.

5. Представляет значительный интерес исследование работы трактора на смесях ДТ и РМ в эксплуатационных условиях.

Литература

1. Карташевич А.Н., Плотников С.А., Гурков Г.Н. Применение этанолсодержащих топлив в дизеле: монография. Ч. I. — Киров : Типография «Авангард», 2011. — 116 с.
2. Карташевич А.Н., Плотников С.А., Товстыка В.С. Применение топлив на основе рапсового масла в тракторных дизелях: монография. — Киров : Типография «Авангард», 2014. — 144 с.
3. Плотников С.А., Зубакин А.С., Коротков А.Н. Система питания генераторным газом ДВС и установка для его осуществления. Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных технологий. // Сб. науч. тр. по мат. заоч. науч.-практ. конф. — Воронеж, 2015. — С. 66–69.
4. Карташевич А.Н., Малышкин П.Ю., Плотников С.А., Зубакин А.С. Исследование работы двигателя 1С6,8/5,4 на альтернативных топливах // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2016. — № 4. — С. 115–117.
5. Плотников С.А. Создание новых альтернативных топлив. — Концепт. — 2014. — Спецвыпуск № 10. — <http://e-koncept.ru/2014/14621.htm>.
6. Плотников С.А., Черемисинов П.Н. Недостатки применения топлив на основе рапсового масла в дизельных двигателях. Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика // Сб. науч. тр. по мат. заоч. науч.-практ. конф. — Воронеж : ООО ИПЦ «Научная книга», 2015. — № 4. — Ч. 1 (15–1). — С. 97–101.
7. Плотников С.А., Черемисинов П.Н. Влияние присадок на кинематическую вязкость топлив на основе рапсового масла. Общество, наука, инновации. (НПК-2016) [Электронный ресурс] // Всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18–29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. — Киров, 2016. — С. 1378–1382.
8. Топливная композиция. // Заявка на выдачу патента РФ № 2016133419/17(051858) от 12.08.2016. / С.А.Плотников, А.Н.Карташевич, П.Н.Черемисинов.