

Карнаух М.В.,
Войтов В.А.

Харьковский национальный
технический университет
сельского хозяйства
имени П.Василенко,
г. Харьков, Украина
E-mail: nikolay.karnauh@gmail.com,
vavoitovva@gmail.com

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА СМЕСЕВОМ
СОСТАВЕ БИОТОПЛИВА ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ
И ГОРОДСКИМ ЕЗДОВЫМ ЦИКЛАМ**

УДК 621.936-61

Обоснован оптимальный состав смесового топлива, содержащего этиловые эфиры растительных масел в дизельном топливе для эксплуатации средств транспорта. Выполнена оценка топливной экономичности автомобиля ЗиЛ 5301 "Бычок" при его эксплуатации на оптимальных смесевых составах топлива по магистральному и городскому ездовому циклам. Получены зависимости среднего расхода топлива автомобиля от массы перевозимого груза и типа смесового топлива для зимнего и летнего периода эксплуатации.

Ключевые слова: эксплуатация, биодизель, этиловые эфиры растительных масел, ездовые циклы, расход топлива, регрессионные уравнения, смесовой состав, критерий оптимизации.

Актуальность проблемы. Непрерывный рост автомобильного транспорта предопределяет неизбежность истощения нефтяных запасов, что актуализирует вопрос поиска альтернативных и возобновляемых источников энергии, физико-химические свойства которых имели бы незначительные отличия от традиционного топлива и не снижали технико-эксплуатационные характеристик транспортных средств. Для грузовых автомобилей, большая часть которых оснащена дизельными силовыми агрегатами, таким источником являются биотопливо в виде эфиров жирных кислот растительных масел и жиров. Использование данного вида топлива, как в чистом виде, так и в смесовом составе с минеральным, позволяет в некоторой степени снизить тенденцию роста потребления светлых нефтепродуктов.

Наличие в биотопливе молекулярного кислорода повышает его трибологические характеристики и интенсифицирует процесс сгорания, что влечет к снижению выбросов вредных веществ в атмосферу. Учитывая нынешние требования мирового сообщества к техногенному воздействию автомобиля на окружающую среду, вопрос эксплуатации транспортных средств на биотопливе является крайне актуальным.

Анализ публикаций, посвященных данной проблеме. Поскольку физико-химические свойства биодизеля [1] имеют отличия [2] от дизельного топлива [3] по таким ключевым показателям как теплота сгорания, цетановое число, вязкость, коксуемость и зольность, температура фильтруемости и помутнения, то эти и иные отличия сказываются на эксплуатационных характеристиках работы транспортного средства.

Пониженная теплота сгорания приводит к увеличению расхода топлива и снижению эффективной мощности [4]. При этом улучшаются экологические показатели работы как двигателя, так и автомобиля в целом [5].

При этом основная часть исследовательских работ базируется на стендовых испытаниях, поскольку проведение эксплуатационных испытаний влечет за собой как материальные, так и временные затраты.

Учитывая вышесказанное, исследования в данной работе являются актуальными и востребованными.

Цель исследований. Оценка топливной экономичности автомобиля ЗиЛ 5301 “Бычок” при его эксплуатации на оптимальных смесевых составах биотоплива по магистральным и городским ездовым циклам.

Результаты исследования. Для нахождения оптимального состава смесового топлива, состоящего из минерального дизельного топлива и этиловых эфиров растительных масел, воспользуемся комплексным критерием оптимизации, который был получен в работе [6]:

$$K_{opt} = M_{кр} \cdot G_V^{-1} \cdot E^{-1} \cdot \nu^{-1} = \frac{M_{кр}}{G_V \cdot E \cdot \nu} \quad (1)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, развиваемый дизелем, $H \cdot м = кг \cdot м^2 / с^2$; объемный расход топлива дизеля, $G_V, м^3 / с$; количество выброшенных вредных веществ в атмосферу $E, кг / м^3$; кинематическая вязкость топлива $\nu, м^2 / с$.

При достижении максимального значения критерия будет обеспечиваться максимальный крутящий момент на валу дизеля $M_{кр}$ при минимальном объеме расхода топлива G_V , минимальные выбросы вредных веществ в окружающую среду E и минимальная вязкость топлива ν , которая влияет на прокачиваемость через фильтр тонкой очистки, а, следовательно, и на надежность топливной системы.

Подставив в критерий вместо физических величин их размерность, получаем, что критерий K_{opt} безразмерный.

Как следует из приведенных рассуждений, полученный критерий K_{opt} соответствует физическому смыслу исследуемого процесса и может выступать в качестве количественной величины (меры), как критерий оптимизации при выборе смесевых видов топлива для эксплуатации средств транспорта и расширении их топливной базы.

Выполним дифференцированную оценку степени влияния факторов, которые входят в выражение (1).

Зависимости изменения крутящего момента и объемного расхода топлива при изменении объемной доли содержания этиловых эфиров в дизельном топливе представлены на рис. 1. Зависимости получены экспериментально, при испытании дизеля Д-243 на стенде.

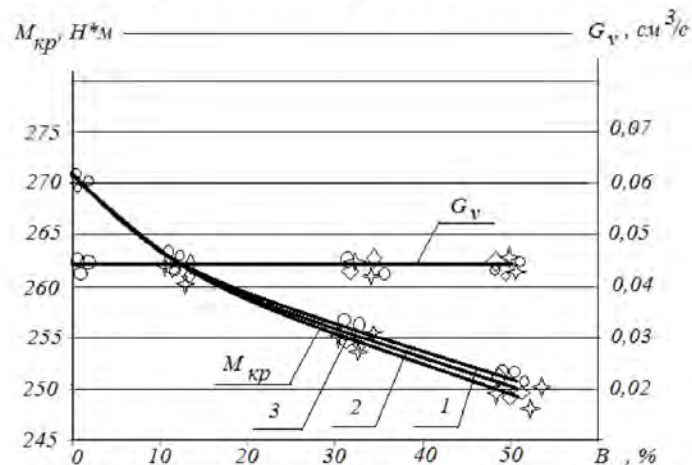


Рис. 1 – Зависимости изменения крутящего момента и объемного расхода топлива от процентного содержания этиловых эфиров в дизельном топливе
 1 – этиловые эфиры рапсового масла (ЭЭРМ); 2 – этиловые эфиры подсолнечного масла (ЭЭПМ);
 3 – этиловые эфиры соевого масла (ЭЭСМ)

Как следует из представленных зависимостей, с увеличением содержания этиловых эфиров растительных масел в дизельном топливе крутящий момент уменьшается, например,

при В50 знижується на 7,7...8,4%. При цьому зниження на 7,7% стосується етилових ефірів рапсового масла (ЕЭРМ), а 8,4% к етиловим ефірам соєвого масла (ЕЭСМ).

Об'ємна подача палива секціями топливного насоса не змінюється і залишається постійною для всіх сумісєвих складів палива.

Залежність зміни виброса шкідливих речовин в атмосферу і кінематическої в'язкості сумісєвих топлив при зміні об'ємної частини вмісту етилових ефірів рослинних масел в дизельному топливі представлені на рис. 2.

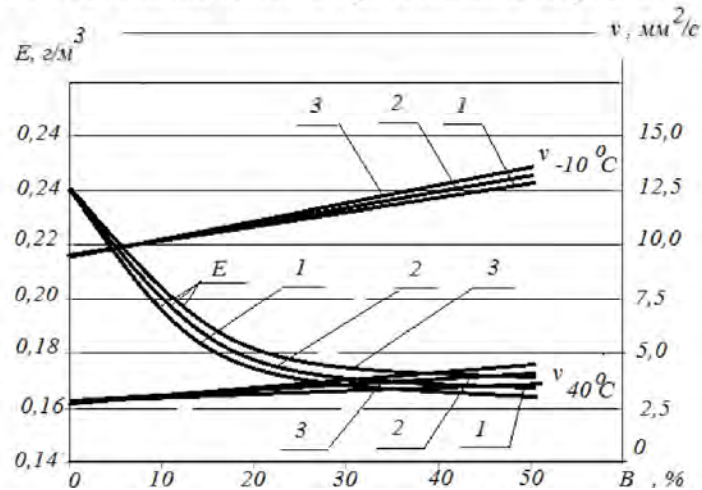


Рис. 2 – Залежності зміни сумарного виброса шкідливих речовин в атмосферу і кінематическої в'язкості сумісєвого складу від процентного вмісту етилових ефірів в дизельному топливі
 1 – ЕЭРМ; 2 – ЕЭПМ; 3 – ЕЭСМ

Залежності зміни кінематическої в'язкості сумісєвих топлив отримані теоретически і представлені для двох температур для періоду літньої експлуатації $T = +40^\circ\text{C}$ і періоду зимньої експлуатації $T = -10^\circ\text{C}$.

Из анализа представленных зависимостей на рис. 1 и рис.2 можно сделать выводы, что обобщенная кривая критерия оптимизации, который представлен зависимостью (1), будет иметь два оптимума.

Расчетные зависимости изменения критерия K_{opt} для различных сумісєвих топлив В10-В50 представлені на рис. 3.

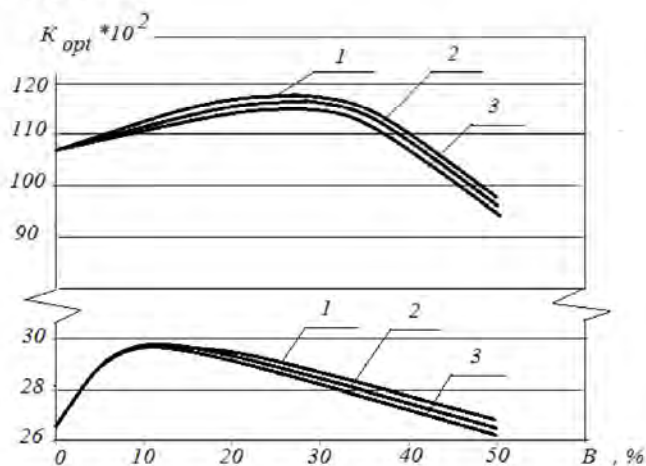


Рис. 3 – Залежності зміни критерію оптимізації від вмісту етилових ефірів в дизельному топливі
 1 – ЕЭРМ; 2 – ЕЭПМ; 3 – ЕЭСМ

Аналізуючи представлені залежності, можна зробити висновок, що для періоду літньої експлуатації, коли в'язкість сумісєвого топлива знаходиться в межах

$\nu = 2.62...3.48 \text{ мм}^2 / \text{с}$, максимальное значение $K_{opt} = 11861$ и соответствует смесевому составу В30. Для В10 $K_{opt} = 11238$, а для В50 $K_{opt} = 9724$.

Для периода зимней эксплуатации, когда вязкость смесевого топлива находится в пределах $\nu = 9,52...12,72 \text{ мм}^2 / \text{с}$, максимальное значение $K_{opt} = 2966$ соответствует значению В10. При этом, для смесевого топлива В30 $K_{opt} = 2866$, а для В50 $K_{opt} = 2690$.

Большая разница в значениях K_{opt} объясняется большим отличием кинематической вязкости при температурах $T = -10^\circ\text{C}$ и $T = +40^\circ\text{C}$. Высокие значения вязкости будут снижать фильтруемость топлива через фильтры тонкой очистки.

Анализируя зависимости, представленные на рис. 3, можно утверждать:

- для летнего периода эксплуатации необходимо применять смесевые топлива не более 30% этиловых эфиров растительных масел;
- для зимнего периода эксплуатации необходимо применять смесевые топлива, содержащие не более 10% этиловых эфиров растительных масел.

Для подтверждения установленных зависимостей и показателей проведены эксплуатационные испытания автомобиля ЗиЛ 5301 “Бычок” по магистральному и городскому ездовому циклам.

Согласно ГОСТ 20306-90 [7] для грузовых автомобилей полной массой свыше 3,5 т в качестве программы испытаний применяется магистральный ездовой цикл на дороге. Номера операций при выполнении такого цикла, последовательность операций и отметка пути в метрах представлено на рис.4.

Последовательность операций и их номера, а также отметка пути начала и завершение операций городского цикла на дороге для автотранспортных средств свыше 3,5 т, представлена на рис.5.

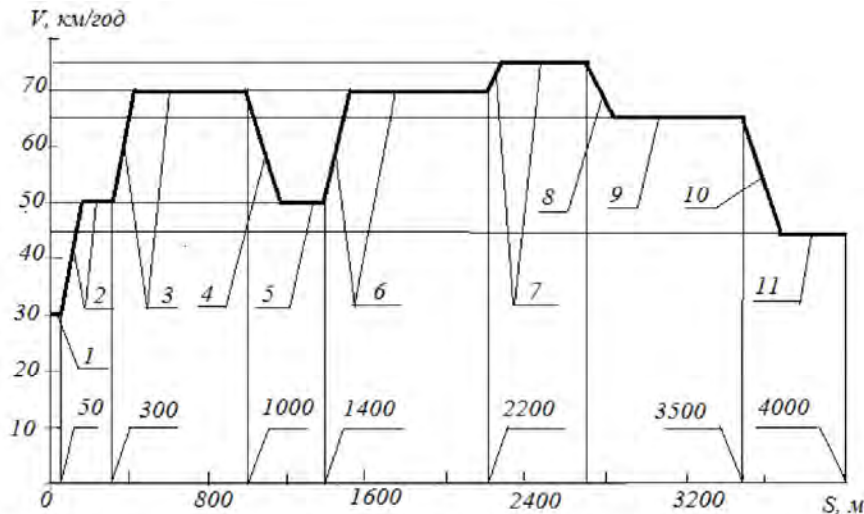


Рис. 4 – Схема магистрального цикла на дороге для грузовых автомобилей полной массой свыше 3,5 т:
 1 – движение со скоростью 30 км/ч; 2 – разгон до скорости 50 км/ч и движение с этой скоростью; 3 – разгон до скорости 70 км/ч и движение с этой скоростью; 4 – замедление двигателем до скорости 50 км/ч; 5 – движение со скоростью 50 км/ч; 6 – разгон до скорости 70 км/ч и движение с этой скоростью; 7 – разгон до скорости 75 км/ч и движение с этой скоростью; 8 – замедление двигателем до скорости 65 км/ч; 9 – движение со скоростью 65 км/ч; 10 – замедление двигателем до скорости 45 км/ч; 11 – движение со скоростью 45 км/ч

По измеренным значениям времени прохождения циклов $t, \text{с}$ и объемного расхода топлива $Q_v, \text{см}^3$, согласно ГОСТ 20306-90 рассчитывались следующие показатели:

- средняя скорость движения автотранспортного средства:

$$V_{cp} = \frac{3,6 \cdot S}{t_{cp}} \quad (2)$$

– средний расход топлива:

$$Q_{cp} = \frac{1000 \cdot Q_{Vcc}}{S}, \text{ л/100 км} \quad (3)$$

где S – длина измерительного участка, равная 4000 м; t_{cp} – среднее время, затраченное на проезд измерительного участка, с; Q_{Vcc} – средний объемный расход топлива, измеренный расходомером за испытательный цикл, см^3 .

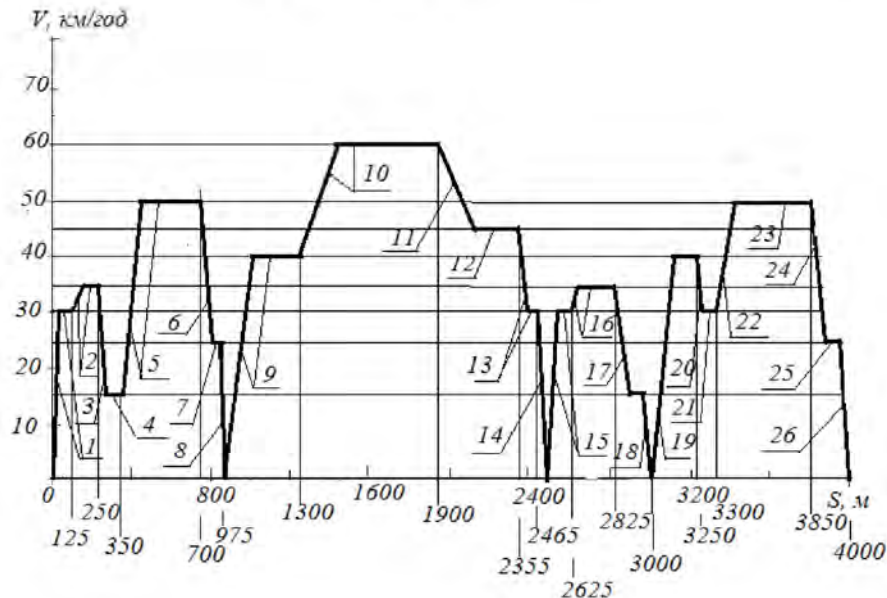


Рис. 5 – Схема городского цикла на дороге для грузовых автомобилей полной массой свыше 3,5 т:

1 – разгон до скорости 30 км/ч и движение до отметки 125 м; 2 – разгон до скорости 35 км/ч и движение до отметки 250 м; 3 – торможение до скорости 15 км/ч; 4 – движение с постоянной скоростью 15 км/ч до отметки 350 м; 5 – разгон до скорости 50 км/ч и движение до отметки 700 м; 6 – замедление двигателем до скорости 25 км/ч; 7 – движение со скоростью 25 км/ч до отметки 975 м; 8 – торможение до полной остановки, работа на холостом ходу 15 с; 9 – разгон до скорости 40 км/ч и движение до отметки 1300 м; 10 – разгон до скорости 60 км/ч и движение до отметки 1900 м; 11 – замедление двигателем до скорости 45 км/ч; 12 – движение со скоростью 45 км/ч до отметки 2355 м; 13 – торможение до скорости 30 км/ч до отметки 2465 м; 14 – торможение до полной остановки, работа на холостом ходу 15 с; 15 – разгон до скорости 30 км/ч и движение до отметки 2625 м; 16 – разгон до скорости 35 км/ч и движение до отметки 2825 м; 17 – замедление двигателем до скорости 15 км/ч; 18 – торможение до полной остановки, работа на холостом ходу 15 с; 19 – разгон до скорости 40 км/ч и движение до отметки 3250 м; 20 – торможение до скорости 30 км/ч; 21 – движение со скоростью 30 км/ч до отметки 3300 м; 22 – разгон до скорости 50 км/ч; 23 – движение со скоростью 50 км/ч до отметки 3850 м; 24 – торможение до скорости 25 км/ч; 25 – движение со скоростью 25 км/ч до отметки 3975 м; 26 – торможение до полной остановки на отметке 4000 м. После полной остановки выключение измерительных приборов.

На основании полученных результатов эксплуатационных испытаний по магистральному и городскому циклу на дороге в летний и зимний периоды эксплуатации, были построены закономерности изменения расхода топлива Q_{cp} , л/100 км в зависимости от массы перевозимого груза и типа смесевых топлив.

Зависимости изменения среднего расхода топлива по магистральному ездовому циклу в летний период эксплуатации от массы груза и типа топлива, представлены на рис. 6.

Из анализа результатов можно сделать следующие выводы. Применение смесового топлива 70% ДТ (Л) + 30% ЭЭРМ увеличивают расход топлива автомобиля на 7,05-7,1%. При этом величина 7,05% соответствует пробегу автомобиля без груза ($m=0$), а величины 7,1% - пробегу с грузом ($m=3000 \text{ кг}$). Коэффициент вариации измеряемой величины расхода топлива составил $v_Q=0,04\dots0,046$. Это позволяет сделать вывод, что ошибка измерений находится в пределах 4,0...4,6%.

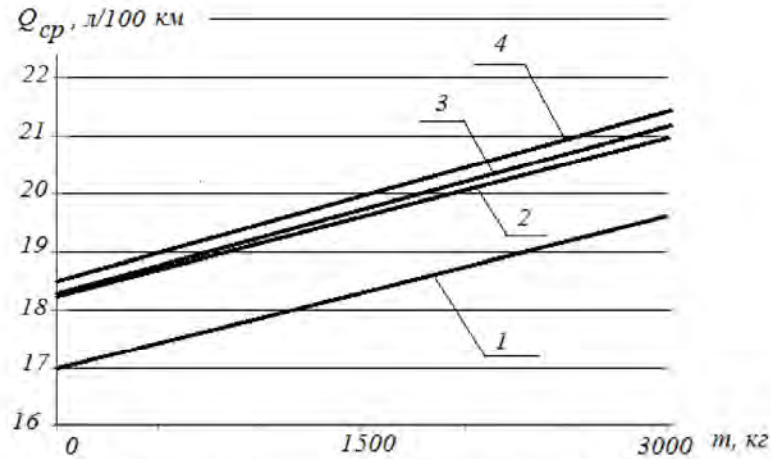


Рис. 6 – Зависимости изменения среднего расхода топлива по магистральному ездовому циклу в летний период эксплуатации от массы груза и типа топлива
 1 – ДТ(Л); 2 – 70%ДТ(Л) + 30%ЭЭРМ; 3 – 70%ДТ(Л) + 30%ЭЭПМ; 4 – 70%ДТ(Л) + 30%ЭЭСМ

Полученный результат увеличения расхода топлива, равный 7,1% совпадает с результатами стендовых испытаний [8], где увеличение удельного расхода топлива при применении 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭРМ соответствует 7,52%.

При применении смесового топлива 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭПМ, процент увеличения расхода топлива Q_{cp} , л/100 км составляет 7,05...7,65%. Стендовые испытания показали увеличение удельного расхода топлива на 7,59%.

При применении смесового топлива 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭСМ, процент увеличения выше и соответствует 8,23...8,67%. Однако данная величина совпадает со значениями, полученными во время стендовых испытаний, которые составили 8,11%.

Увеличение массы перевозимого груза приводит к увеличению расхода смесового топлива и увеличению ошибки определения $Q_{по}$, при этом коэффициент вариации не превышает значения $\nu = 0,046$.

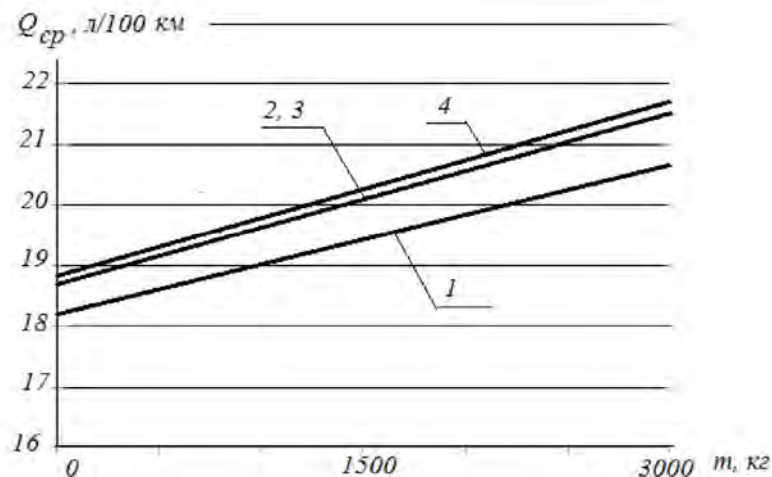


Рис. 7 – Зависимости изменения среднего расхода топлива по магистральному ездовому циклу в зимний период эксплуатации от массы груза и типа топлива
 1 – ДТ(З); 2 – 70%ДТ(З) + 30%ЭЭРМ; 3 – 70%ДТ(З) + 30%ЭЭПМ; 4 – 70%ДТ(З) + 30%ЭЭСМ

Зависимости изменения среднего расхода топлива по магистральному ездовому циклу в зимний период эксплуатации от массы груза и типа топлива, представлены на рис. 7.

Как следует из представленных результатов процент увеличения расхода топлива Q_{cp} , л/100 км для различных типов смесевых топлив, по сравнению с дизельным топливом ДТ(З), составляет:

- 90% ДТ(З) + 10% ЭЭРМ, $\varepsilon = 3,31...3,86\%$;
- 90% ДТ(З) + 10% ЭЭПМ, $\varepsilon = 3,31...3,86\%$;
- 90% ДТ(З) + 10% ЭЭСМ, $\varepsilon = 3,86...4,34\%$.

При этом коэффициент вариации находится в пределах 0,038...0,049. Большая величина соответствует смесевому топливу, которое содержит этиловые эфиры соевого масла.

Полученные результаты совпадают с результатами стендовых испытаний, согласно которым процент увеличения удельного расхода топлива при применении 10% этиловых эфиров различных масел составляет 3,65...4,2%, что совпадает с полученными результатами в процессе выполнения ездовых циклов.

Зависимости изменения среднего расхода топлива по городскому ездовому циклу в летний период эксплуатации от массы груза и типа топлива, представлены на рис. 8.

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы, что при применении смесевых топлив, в сравнении с дизельным топливом, наблюдается увеличение расхода топлива Q_{cp} , л/100 км:

- 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭРМ, $\varepsilon = 7,1...7,24\%$;
- 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭПМ, $\varepsilon = 7,73\%$;
- 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭСМ, $\varepsilon = 8,28...8,69\%$.

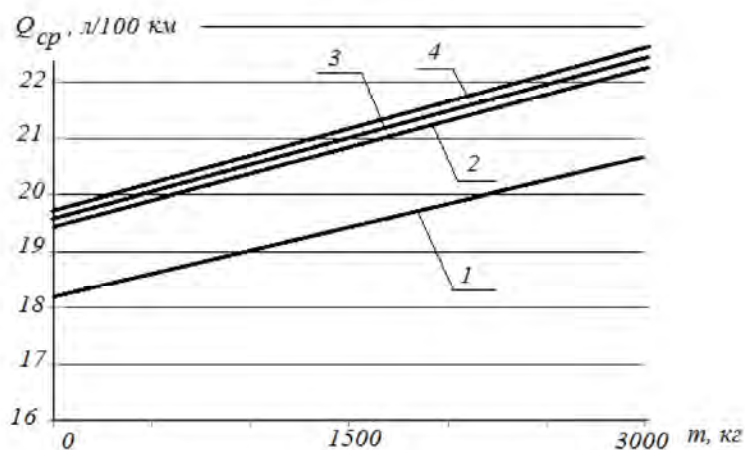


Рис. 8 – Зависимость изменения среднего расхода топлива по городскому ездовому циклу в летний период эксплуатации от массы груза и типа топлива
1 – ДТ(Л); 2 – 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭРМ; 3 – 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭПМ; 4 – 70% ДТ(Л) + 30% ЭЭСМ

При этом, коэффициент вариации значений Q_{cp} , находится в пределах 0,043...0,048 для смесевоего топлива, содержащего 30% ЭЭСМ. Большие значения соответствуют ездовым циклам с массой груза $m = 3000$ кг, а меньше значение для порожнего движения автомобиля ($m = 0$).

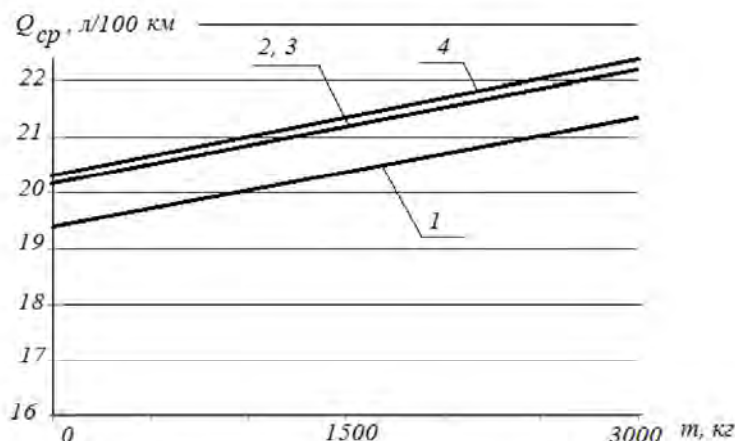


Рис. 9 – Зависимость изменения среднего расхода топлива по городскому ездовому циклу в зимний период эксплуатации от массы груза и типа топлива
 1 – ДТ(З); 2 – 70%ДТ(З) + 30%ЭЭРМ; 3 – 70%ДТ(З) + 30%ЭЭПМ; 4 – 70%ДТ(З) + 30%ЭЭСМ

Зависимость изменения среднего расхода топлива по городскому ездовому циклу в зимний период эксплуатации от массы груза и типа топлива, представлены на рис. 9.

Сравнивая результаты испытаний по магистральному и городскому циклам на дороге в летний и зимний периоды эксплуатации, необходимо отметить увеличение расхода топлива. При этом минимальные значения относятся к топливу, содержащему ЭЭРМ, а максимальные значения к топливу, содержащему ЭЭСМ.

Зависимости аппроксимированы с помощью метода наименьших квадратов по экспериментальным данным. Общее уравнение, которое характерно для всех типов топлива и периодов эксплуатации (зимний и летний), а также условий эксплуатации (магистральный или городской цикл), имеет вид:

$$Q_{cp} = a + 9,35 \cdot 10^{-4} \cdot m, \text{ л/100 км} \quad (4)$$

где a – безразмерный коэффициент, который зависит от типа топлива, периода и условий эксплуатации; m – масса перевозимого груза, кг.

Уравнение было проверено на адекватность по критерию Фишера и соответствует экспериментальным данным с доверительной вероятностью 0,95.

Для определения расхода топлива во время эксплуатации, с целью разработки нормативных условий, необходимо знать значения безразмерных коэффициентов a . Физический смысл коэффициента a – это расход топлива транспортным средством при поездке без груза, т.е. $m = 0$.

В таблице 1 приведены значения коэффициента a , которые получены экспериментально.

Таблица 1

Значения регрессионных коэффициентов a для различных условий эксплуатации

Тип топлива	Значение коэффициента a			
	Магистральный цикл (лето)	Магистральный цикл (зима)	Городской цикл (лето)	Городской цикл (зима)
ДТ	17,0	18,1	18,1	19,4
ДТ+ЭЭРМ	18,2	18,7	19,4	20,1
ДТ+ЭЭПМ	18,2	18,7	19,5	20,1
ДТ+ЭЭСМ	18,4	18,8	19,6	20,2

Применение регрессионного уравнения позволяет сделать прогноз по расходу топлива автомобилем ЗиЛ 5301 “Бычок” в зависимости от различных условий эксплуатации. Данный механизм расчета позволит планировать и нормировать расход топлива в

автопредприятиях при применении смесевых топлив на базе этиловых эфиров растительных масел.

Выводы

1. На основании безразмерного критерия оптимизации смесового состава биотоплива для эксплуатации средств транспорта установлено оптимальное содержание этиловых эфиров растительных масел в дизельном топливе, которое для летнего периода эксплуатации не превышает 30% этиловых эфиров, а для зимней эксплуатации не более 10%.

2. Выполнена оценка топливной экономичности автомобиля ЗиЛ 5301 "Бычок" при эксплуатации на оптимальных смесевых составах топлива по магистральному и городскому ездовому циклам. Установлено, что при эксплуатации автомобиля на магистральных дорогах, а асфальтным покрытием в летний период эксплуатации на смесевом топливе, содержащем 30% этиловых эфиров, расход топлива увеличивается по сравнению с дизельным топливом на 7,05...8,67%. Меньшее значение относится к ЭЭРМ, а большее к ЭЭСМ. Для зимнего периода эксплуатации, когда смесевое топливо содержит 10% этиловых эфиров, расход топлива увеличивается на 3,31...4,34%.

3. Получены зависимости среднего расхода топлива автомобиля от массы перевозимого груза и типа смесового топлива для зимнего и летнего периода эксплуатации, которые аппроксимированы общим регрессионным уравнением. Уравнение позволяет выполнить прогноз расхода топлива автомобилем при применении смесевых топлив на базе этиловых эфиров, а также разработать нормативные показатели по расходу смесевых топлив для зимнего и летнего периода эксплуатации, что является практической значимостью данной работы.

Литература:

1. ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги».
2. Звонов В.А. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив / В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко. – Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII. – № 6. – С. 147.
3. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови.
4. Банников Н. Г. Характеристики сгорания метиловых эфиров жирных кислот в дизельном двигателе /Н. Г. Банников // Проблемы машиностроения. – 2012. – Т. 15, № 5-6. – С. 70-76.
5. Müller-Langer F. Benchmarking biofuels – a comparison of technical, economic and environmental indicators /Franziska Müller-Langer, Stefan Majer, and Sinéad O’Keeffe //
6. Energy, Sustainability and Society. – 2014, 4:20. – Access mode: <http://www.energysustainsoc.com/content/4/1/20>; doi:10.1186/s13705-014-0020-x
7. Карнаух Н.В. Теоретические исследования надежности топливной системы дизелей средств транспорта при расширении топливной базы // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. ХНТУСГ, 2016, №4. С. 252-265.
8. ГОСТ 20306-90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний.
9. Карнаух, М. В. Оцінка показників паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизеля при використанні етилових ефірів / Карнаух М. В – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: збірник наукових трудов, Проблеми технічної експлуатації машин / ХНТУСГ. – Х.: Вип. 109. – С.178-185.

Summary

Karnauh M.V., Vojtov V.A. Operating tests of a vehicle on the mixture composition of biodiesel fuel on the main and urban driving cycles

A dimensionless criterion for optimizing the mixture composition of biofuels for the operation of transport vehicles has been obtained. The estimation of fuel efficiency of the ZIL 5301 "Bychok" car at its operation on the optimal mixture mixtures of fuel on the main and urban driving cycles is carried out. The dependences of the average fuel consumption of the car on the mass of the cargo being transported and the type of mixed fuel for the winter and summer operation periods are obtained.

Keywords: operation, biodiesel, ethyl esters, driving cycles, fuel consumption, regression equations, mixture composition, optimization criterion.

References

1. DSTU 6081:2009 «Palivo motorne. Efiri metilovi zhirnih kislot oliv i zhiriv dlya dizel'nih dviguniv. Tekhnichni vimogi».
2. Zvonov V.A. Issledovanie ehffektivnosti primeneniya v dizel'nyh dvigatelyah toplivnyh smesey i biotopliv / V.A. Zvonov, A.V. Kozlov, A.S. Terenchenko. – Rossijskij himicheskij zhurnal. – 2008. – T. LII. – № 6. – S. 147.
3. DSTU 7688:2015 Palivo dizel'ne Evro. Tekhnichni umovi.
4. Bannikov N. G. Harakteristiki sgoraniya metilovyh ehfirov zhirnyh kislot v dizel'nom dvigatele /N. G. Bannikov // Problemy mashinostroeniya. - 2012. - T. 15, № 5-6. - S. 70-76.
5. Müller-Langer F. Benchmarking biofuels – a comparison of technical, economic and environmental indicators /Franziska Müller-Langer, Stefan Majer, and Sinéad O’Keeffe //
6. Energy, Sustainability and Society. – 2014, 4:20. – Access mode: <http://www.energysustainsoc.com/content/4/1/20>; doi:10.1186/s13705-014-0020-x
7. Karnauh N.V. Teoreticheskie issledovaniya nadezhnosti toplivnoj sistemy dizelej sredstv transporta pri rasshirenii toplivnoj bazy // Tekhnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv. HNTUSG, 2016, №4. S. 252-265.
8. GOST 20306-90 Avtotransportnye sredstva. Toplivnaya ehkonomichnost'. Metody ispytanij.
9. Karnauh, M. V. Ocinka pokaznikov palivnoï ekonomichnosti i toksichnosti vidprac'ovanih gaziv dizelya pri vikoristanni etilovih efiriv / Karnauh M. V. - S.178-185. - Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka: sbornik nauchnyh trudov, Vip. 109. Problemi tekhnichnoï ekspluatacii mashin / HNTUSG. - H.