

УДК 629.114.2.004

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛЁСНОГО ТРАКТОРА ПУТЁМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА**

*д-р техн. наук, проф. А.Н. КАРТАШЕВИЧ,  
канд. техн. наук, доц. В.А. БЕЛОУСОВ, В.С. ТОВСТЫКА  
(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки)*

*Рассматриваются эксплуатационные показатели колёсного трактора, их улучшение путём использования смешанного топлива переменного состава. Обоснована необходимость его регулирования в зависимости от режима работы трактора. Разработаны методики многокритериальной оптимизации состава смешанных видов топлива и определения базовой характеристики оптимизации соотношения компонентов топлива, позволяющие определять необходимое соотношение компонентов для каждого из режимов работы силовой установки трактора. Представлены результаты испытаний разработанного устройства регулирования состава смешанного топлива на дизеле Д-245.5С2 и тракторе «БЕЛАРУС 922».*

**Введение.** В процессе своей эксплуатации, выполняя полезную работу, трактор ухудшает состояние окружающей среды: при движении он уплотняет почву, что негативно сказывается на плодородном слое и снижает урожайность сельскохозяйственных культур; агрегаты трансмиссии, двигатель, системы его впуска и выпуска, вентилятор системы охлаждения являются источниками шума на тракторе, который вызывает утомляемость механизатора и снижает производительность труда. Однако наибольший вред окружающей среде при эксплуатации трактора приносит его силовая установка, выбрасывающая с отработавшими газами более 1000 токсичных компонентов. Установлено, что концентрация таких вредных веществ, как окислы азота ( $\text{NO}_x$ ), окись углерода (СО), сажа (С), углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ), полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в кабинах тракторов и автомобилей в несколько раз превышают допустимые нормы. Превышение предельно допустимой концентрации вещества ухудшает здоровье работников и снижает производительность труда. Выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами приводят к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, ухудшению качества кормовых растений, мясомолочной продукции, продуктивности животноводства, снижению ценности садовых и овощных культур. Поэтому снижение вредного воздействия тракторов на окружающую среду имеет важное значение для народного хозяйства Республики Беларусь. Правительством принимаются нормативные акты и реализуются государственные программы, направленные на решение этой важной проблемы.

Основными направлениями по снижению загрязнений окружающей среды при работе автотракторной техники как в Беларуси, так и за рубежом являются: снижение расхода топлива, улучшение качества рабочего процесса двигателя внутреннего сгорания (ДВС), развитие автотракторной техники, работающей на альтернативных возобновляемых видах топлива.

Для Республики Беларусь важное значение имеет снижение энергетической зависимости от нефтяного топлива, так как разработка отечественных запасов нефти не удовлетворяет в полном объёме потребности республики в углеводородном топливе.

Снизить негативное воздействие тракторов на окружающую среду и уменьшить зависимость Беларуси от минерального топлива можно, используя смешанное топливо на основе рапсового масла. Экологическую, экономическую и энергетическую эффективность использования этих топлив доказывают исследования, проведенные как в нашей стране, так и за рубежом. Наряду с этим рост потребности в растительном сырье для изготовления топлива повышает доходность сельского хозяйства [1; 2].

Практически все исследователи пришли к выводу, что использование смешанных топлив в тракторах позволяет снизить расход чистого дизельного топлива и улучшить их экологические показатели без ущерба тяговому. Дальнейшее улучшение эксплуатационных показателей тракторов при использовании данного вида топлива возможно, используя регулирование количества рапсового масла в смешанных топливах в зависимости от режима работы машины. Это обуславливается различной степенью их влияния на показатели рабочего процесса силовой установки при смене режима работы.

**Основная часть.** В ходе проведения предварительных испытаний дизеля Д-245.5С2 было замечено, что величина изменения количества выбросов оксидов азота, сажи и монооксида углерода с отработавшими газами дизеля при увеличении концентрации рапсового масла в смешанном топливе на различных режимах работы различна [3]. Поэтому считаем необходимым для улучшения экологических показателей работы дизеля изменять концентрацию рапсового масла в топливе при изменении скоростного и нагрузочного режима работы двигателя.

Для выявления наиболее оптимальной концентрации рапсового масла в смесевом топливе в зависимости от режима работы дизеля Д-245.5С2 были проведены испытания по 8-ми ступенчатому испытательному циклу согласно правилам ЕЭК ООН № 96 (рис. 1).

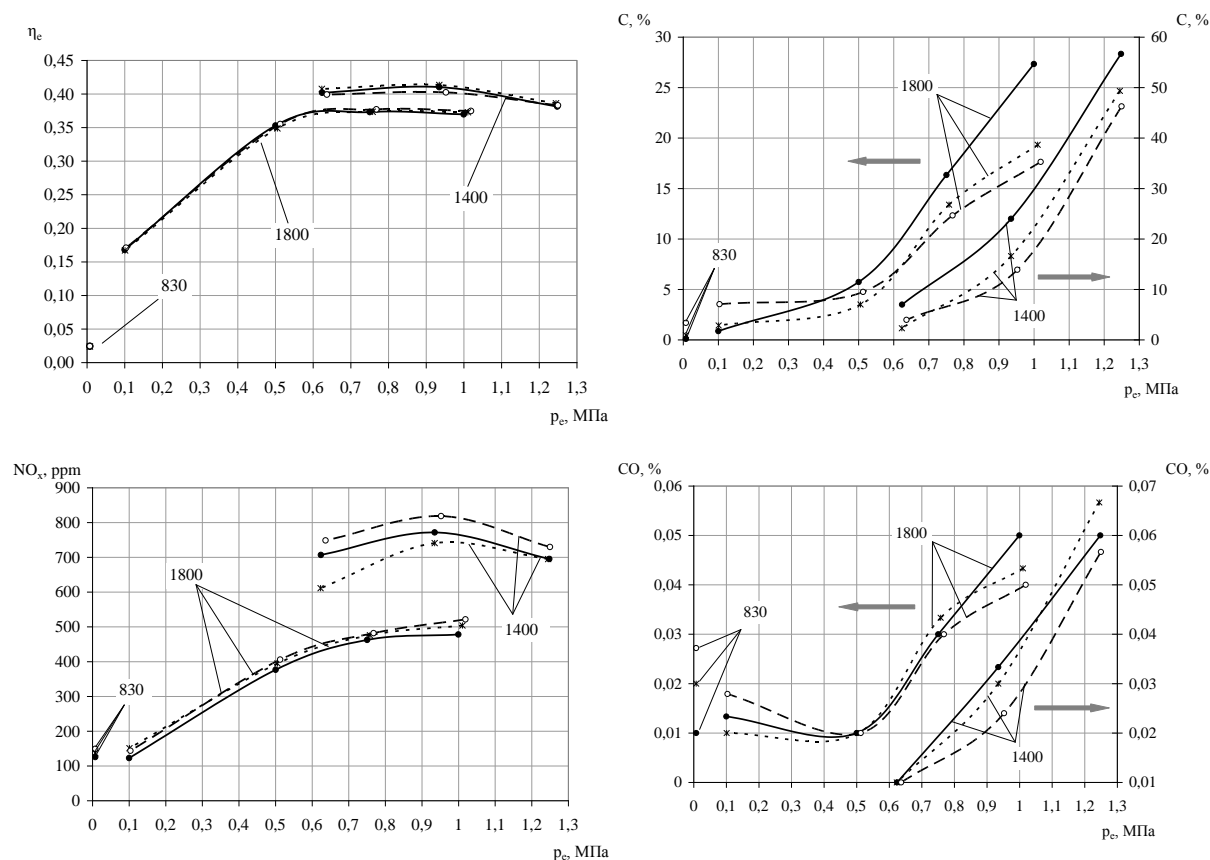


Рис. 1. Зависимость эффективного КПД ( $\eta_e$ ) и концентрации в отработавших газах дизеля Д-245.5С2 сажи (С), оксидов азота ( $NO_x$ ) и оксида углерода (СО) от скоростного и нагрузочного режимов (согласно правилам ЕЭК ООН № 96) при использовании топлив различного состава:  
 —●— дизельное топливо; - - \* - - смесь 80 % дизельного топлива с 20 % рапсового масла;  
 —○— смесь 60 % дизельного топлива с 40 % рапсового масла

При оптимизации состава смесевое топлива за основу возьмём методику, разработанную А.А. Ефановым и Н.А. Иващенко в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана [4]. Эта методика позволяет определить оптимальный состав смесевое топлива и определить оптимальную концентрацию рапсового масла в смесевом топливе для рассматриваемых режимов работы согласно 13-ти ступенчатому испытательному циклу правил ЕЭК ООН № 49 для автомобильных дизелей.

Исследуемый нами двигатель устанавливается на тракторах, поэтому его испытания будем проводить согласно 8-ми ступенчатому испытательному циклу правил ЕЭК ООН № 96 [5].

Оптимизируя состав смесевое топлива, необходимо учитывать показатели токсичности и топливной экономичности дизеля, поэтому задача оптимизации смесевое топлива является многокритериальной. Оценку токсичности можно провести по удельным выбросам нормируемых токсичных компонентов (твёрдые частицы или сажа, оксиды азота, оксид углерода, несгоревшие углеводороды). Топливную экономичность дизеля можно оценить по удельному эффективному расходу топлива, но так как смесевые топлива имеют низшую теплоту сгорания ниже, чем чистое дизельное топливо, то экономичность дизеля будем оценивать по эффективному КПД двигателя.

Используя метод свёртки, многокритериальную задачу сведём к однокритериальной, в которой присутствует обобщённый критерий оптимизации  $K_o$  в виде суммы частных критериев:

$$K_o = \sum_{i=1}^n a_i K_i, \tag{1}$$

где  $K_i$  – частные критерии оптимальности;  $a_i$  – весовые коэффициенты.

В качестве частных критериев оптимальности будем использовать эффективный КПД тракторного дизеля и массовые выбросы нормируемых токсичных компонентов отработавших газов: сажа (С), оксиды азота  $NO_x$ , оксид углерода СО.

$$K_o = a_{\eta_e} \cdot K_{\eta_e} + a_C \cdot K_C + a_{NO_x} \cdot K_{NO_x} + a_{CO} \cdot K_{CO}. \quad (2)$$

Частные критерии оптимизации, входящие в выражение (2), определяются по зависимостям:

$$K_{\eta_e} = \frac{\eta_{e_0\text{чст}}}{\eta_{e\text{чст}}}; \quad K_C = \frac{e_C}{e_{C_0}}; \quad K_{NO_x} = \frac{e_{NO_x}}{e_{NO_x_0}}; \quad K_{CO} = \frac{e_{CO}}{e_{CO_0}}, \quad (3)$$

где  $\eta_{e\text{чст}}$  – условный эффективный КПД дизеля при его работе на смесевом топливе определённого состава;  $\eta_{e_0\text{чст}}$  – условный эффективный КПД дизеля при работе на чистом дизельном топливе;  $e_C$ ,  $e_{NO_x}$ ,  $e_{CO}$  – удельные массовые выбросы соответственно сажи, оксидов азота и монооксида углерода при работе силовой установки трактора на смесевом топливе определённого состава;  $e_{C_0}$ ,  $e_{NO_x_0}$ ,  $e_{CO_0}$  – удельные массовые выбросы сажи, оксидов азота и монооксида углерода при его работе на чистом дизельном топливе.

Значимость частных критериев, которые характеризуют токсичность ОГ, определим по соответствию исследуемого тракторного дизеля работающего на чистом ДТ действующим нормам на токсичность ОГ. Весовой коэффициент  $a_{\eta_e}$  примем равным единице, а весовые коэффициенты  $a_C$ ,  $a_{NO_x}$ ,  $a_{CO}$ , определим в виде отношения действительной эмиссии токсичных компонентов отработавших газов к их предельным величинам, лимитируемым нормами на токсичность:

$$a_C = \frac{e_C}{e_{Cnp}}; \quad a_{NO_x} = \frac{e_{NO_x}}{e_{NO_xnp}}; \quad a_{CO} = \frac{e_{CO}}{e_{COnp}}, \quad (4)$$

где  $e_C$ ,  $e_{NO_x}$ ,  $e_{CO}$  – удельные массовые выбросы соответственно сажи, оксидов азота и монооксида углерода при работе силовой установки трактора на чистом дизельном топливе;  $e_{Cnp}$ ,  $e_{NO_xnp}$ ,  $e_{COnp}$  – предельные значения удельных выбросов сажи, оксидов азота и монооксида углерода, лимитируемые нормами для тракторных дизелей Stage-2.

Значения весовых коэффициентов частных критериев оптимальности для всех режимов работы силовой установки трактора приняты постоянным и не зависящим от вида топлива. Значения интегральных удельных выбросов рассчитываются по методике, описанной в правилах ЕЭК ООН № 96 [5]:

$$e_{NO_x} = \frac{\sum_{i=1}^8 E_{NO_xi} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^8 N_{ei} \cdot A_i}; \quad e_{CO_x} = \frac{\sum_{i=1}^8 E_{CO_xi} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^8 N_{ei} \cdot A_i}, \quad (5)$$

где  $E_{NO_xi}$ ,  $E_{CO_xi}$  – массовые выбросы оксидов азота и оксида углерода на  $i$ -м режиме 8-ми ступенчатого испытательного цикла ЕЭК ООН № 96, г/ч;  $A_i$  – коэффициент, отражающий долю времени  $i$ -го режима в 8-ми ступенчатом испытательном цикле ЕЭК ООН № 96;  $N_{ei}$  – мощность двигателя на  $i$ -м режиме.

Выбросы сажи рассчитаем по этой же методике:

$$e_C = \frac{\sum_{i=1}^8 E_{Ci} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^8 N_{ei} \cdot A_i}. \quad (6)$$

Методика расчёта массовых выбросов оксидов азота и оксида углерода описана в тех же правилах ЕЭК ООН № 96 [5]. Массовые выбросы сажи рассчитаем по формуле, предложенной А.Н. Карташевичем [6]:

$$E_C = \frac{\pi \cdot C \cdot Q_{OG} \cdot a \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{6 \cdot (100 - C) \cdot L_k}, \quad (7)$$

где  $Q_{OG}$  – расход отработавших газов, м<sup>3</sup>/ч;  $C$  – значение затемнения светового потока в процентах от полного поглощения (оптическая плотность дыма), %;  $a$  – диаметр частиц сажи,  $a = 0,047$  м;  $\rho$  – плотность сажевых частиц,  $\rho = 1450$  кг/м<sup>3</sup>;  $L_k$  – длина измерительной камеры,  $L_k = 0,43$  м.

Эффективный КПД силовой установки трактора и удельный расход топлива определим по известным зависимостям [7]:

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot g_e}, \quad (8)$$

где  $H_u$  – низшая теплота сгорания исследуемого топлива, МДж/кг;  $g_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч.

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_T}{N_e}, \quad (9)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт.

На режимах 8-ми ступенчатого испытательного цикла эксплуатационный расход топлива оценим по среднему (условному) удельному эффективному расходу топлива [4]:

$$g_{\text{еysl}} = \frac{\sum_{i=1}^8 G_{mi} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^8 N_{ei} \cdot A_i}, \quad (10)$$

где  $G_{mi}$  – часовой расход топлива на  $i$ -м режиме;  $A_i$  – коэффициент, отражающий долю времени  $i$ -го режима в 8-ми ступенчатом испытательном цикле ЕЭК ООН № 96.

Условный эффективный КПД дизеля при его работе на смешевом топливе определим по соотношению:

$$\eta_{\text{еysl}} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{\text{еysl}}}, \quad (11)$$

где  $H_u$  – низшая теплота сгорания исследуемого топлива, МДж/кг.

По результатам экспериментов были рассчитаны интегральные показатели токсичности отработавших газов двигателя Д-245.5С2, работающего на чистом дизельном топливе на режимах 8-ми ступенчатого испытательного цикла, весовые коэффициенты частных критериев оптимальности – по выражениям (4) и представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели токсичности отработавших газов дизеля Д-245.5С2, работающего на дизельном топливе на режимах 8-ми ступенчатого испытательного цикла, и значения весовых коэффициентов частных критериев оптимизации

Тип топлива	Выбросы вредных веществ, г/кВт·ч			Весовые коэффициенты		
	$e_C$	$e_{NOx}$	$e_{CO}$	$a_C$	$a_{NOx}$	$a_{CO}$
ДТ	0,371	6,359	2,626	0,928	0,918	0,526
Stage-2	0,4	7	5			

Для определения базовой характеристики проведём оптимизацию состава смешевого топлива на каждом из 8-ми режимов работы дизеля согласно правилам ЕЭК ООН № 96. Испытания проведём на дизеле Д-245.5С2 на следующих видах топлива: дизельное топливо; смесь, состоящая из 80 % ДТ и 20 % рапсового масла; смесь, состоящая из 60 % дизельного топлива и 40 % рапсового масла.

Оптимизация проводилась в соответствии с выражениями (1) и (2) с использованием метода свёртки [4]:

$$K_{\eta_e} = \frac{\eta_{e_0}}{\eta_e}; \quad K_C = \frac{E_C}{E_{C_0}}; \quad K_{NOx} = \frac{E_{NOx}}{E_{NOx_0}}; \quad K_{CO} = \frac{E_{CO}}{E_{CO_0}}, \quad (12)$$

где  $\eta_e$  – эффективный КПД дизеля при его работе на СТ определённого состава;  $\eta_{e_0}$  – эффективный КПД дизеля при работе на чистом ДТ;  $E_C$ ,  $E_{NOx}$ ,  $E_{CO}$  – соответственно массовые выбросы сажи, оксидов азота и монооксида углерода при работе дизеля на смешевом топливе определённого состава;  $E_{C_0}$ ,  $E_{NOx_0}$ ,  $E_{CO_0}$  – массовые выбросы сажи, оксидов азота и монооксида углерода при его работе на чистом дизельном топливе.

При оптимизации состава смесового топлива в зависимости от режима работы силовой установки трактора вычислялись в каждой точке 8-ми ступенчатого испытательного цикла значения обобщённого критерия оптимальности  $J_0$  при всех исследуемых составах топлива. Затем в каждой точке цикла определяли состав топлива, при котором обобщённый критерий оптимальности имеет минимальное значение. Этот состав принимался за оптимальный.

С использованием экспериментальных данных (см. рис. 1) и описанной методики проведена оптимизация состава смесового топлива (табл. 2).

Таблица 2

Значение параметров работы дизеля на режимах 8-ми ступенчатого испытательного цикла и обобщённых критериев оптимизации для различных типов топлив

Тип топлива	$\eta_{e\text{ усл}}$	Выбросы вредных веществ, г/кВт·ч			$K_0$
		$e_C$	$e_{NO_x}$	$e_{CO}$	
Дизельное топливо	0,339	0,371	6,359	2,626	3,362
Смесь 20 % дизельного топлива и 80 % рапсового масла	0,340	0,261	6,287	2,541	3,054
Смесь 60 % дизельного топлива и 40 % рапсового масла	0,341	0,234	6,573	2,346	2,989

Как видно из данных, приведенных в таблице 2, использование смеси дизельного топлива с концентрацией рапсового масла до 40 % позволяет уменьшить удельные выбросы сажи до 36,9 %, с 0,371 г/кВт·ч до 0,234 г/кВт·ч. Также наблюдается уменьшение количества оксида углерода на 3,2 %, с 2,626 г/кВт·ч до 2,541 г/кВт·ч при использовании топлива с содержанием рапсового масла 20 % и на 10,7 % при использовании топлива с массовой долей масла 40 %. При добавлении рапсового масла в смесовое топливо в количестве 20 % также снижаются выбросы оксида азота на 1,1 %, однако с увеличением концентрации масла до 40 % наблюдается увеличение удельных выбросов окислов азота на 3,4 %. Изменение условного эффективного КПД дизеля незначительно и находится в пределах 0,5 %. Обобщённый критерий оптимизации с добавлением рапсового масла снижается, и минимальное его значение (2,989) наблюдается при работе дизеля Д-235.5С2 на топливе, состоящем из 60 % дизельного топлива и 40 % масла.

Дальнейшее увеличение показателей работы дизеля на смесовом топливе возможно при использовании системы регулирования концентрации рапсового масла в смесовом топливе в зависимости от режима работы двигателя. Для реализации такого регулирования определим базовую характеристику оптимизации соотношения компонентов смесового топлива.

На основании проведенных экспериментальных исследований (см. рис. 1) рассчитаем удельные выбросы токсичных компонентов отработавших газов по описанной методике. Результаты расчётов сведём в таблицу 3.

Таблица 3

Значение параметров работы дизеля Д-245.5С2 на режимах 8-ми ступенчатого испытательного цикла

№ режима	Дизельное топливо				Смесь 20 % ДТ и 80 % РМ				Смесь 60 % ДТ и 40 % РМ			
	$\eta_e$	выбросы вредных веществ, г/ч			$\eta_e$	выбросы вредных веществ, г/ч			$\eta_e$	выбросы вредных веществ, г/ч		
		$E_C$	$E_{NO_x}$	$E_{eCO}$		$E_C$	$E_{NO_x}$	$E_{eCO}$		$E_C$	$E_{NO_x}$	$E_{eCO}$
1	0,370	21,20	395,23	264,05	0,373	13,51	403,90	221,12	0,375	12,06	418,84	203,95
2	0,373	8,98	327,56	136,25	0,373	7,12	335,58	150,15	0,377	6,47	329,93	130,86
3	0,353	2,56	229,63	39,24	0,349	1,53	239,15	38,84	0,355	2,10	246,91	38,94
4	0,168	0,28	60,23	42,51	0,167	0,46	73,56	31,46	0,171	1,16	70,80	57,00
5	0,381	83,94	388,46	211,70	0,386	62,50	386,29	234,06	0,383	55,27	408,13	199,28
6	0,410	13,84	372,29	102,36	0,413	8,72	342,88	88,14	0,402	7,07	384,81	71,32
7	0,402	2,58	281,26	25,47	0,408	0,81	241,54	25,22	0,399	1,42	301,21	25,61
8	0,024	0,01	23,44	12,15	0,024	0,07	26,26	24,84	0,024	0,24	28,14	33,31

Весовые коэффициенты частных критериев оптимальности, входящих в выражение (2), равны:  $a_C = 0,928$ ;  $a_{NO_x} = 0,918$ ;  $a_{CO} = 0,526$ . Эти значения коэффициентов принимаются одинаковыми для всех режимов 8-ми ступенчатого испытательного цикла и для всех исследуемых видов топлива.

Результаты оптимизации обобщённого критерия оптимальности, проведенной по методике для дизеля Д-245.5С2, работающего на исследуемых топливах, для каждого из режимов 8-ми ступенчатого испытательного цикла приведены в таблице 4.

Рассчитаем эффективные показатели работы дизеля, значения удельных выбросов основных токсичных компонентов и обобщенный критерий оптимальности при работе двигателя на чистом дизельном топливе, смесевых видах топлива постоянного и переменного состава по выражениям (2), (5), (6) и (11). Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 4

Обобщенный критерий оптимальности для каждого из режимов 8-ми ступенчатого испытательного цикла при работе дизеля Д-245.5С2 на исследуемых топливах

Номер режима	$J_{ДТ}$	$J_{20\% РМ}$	$J_{40\% РМ}$
1	3,362	2,951	<b>2,883</b>
2	3,362	3,244	<b>3,078</b>
3	3,362	<b>3,033</b>	3,253
4	<b>3,362</b>	4,047	6,650
5	3,362	3,163	<b>3,055</b>
6	3,362	2,866	<b>2,798</b>
7	3,362	<b>2,578</b>	3,017
8	<b>3,362</b>	7,482	19,365

Таблица 5

Значения параметров работы дизеля Д-245.5С2 и обобщенного критерия оптимальности для исследуемых видов топлив

Тип топлива	$\eta_{е\text{ усл}}$	Выбросы вредных веществ, г/кВт·ч			$K_0$
		$e_C$	$e_{NOx}$	$e_{CO}$	
Дизельное топливо	0,339	0,371	6,359	2,626	3,362
Смесь 20 % ДТ и 80 % РМ	0,340	0,261	6,287	2,541	3,054
Смесь 60 % ДТ и 40 % РМ	0,341	0,234	6,573	2,346	2,989
Смесевое топливо переменного состава	0,340	0,229	6,385	2,242	2,928

Из таблицы 5 видно, что минимум обобщенного критерия оптимальности  $K_0 = 2,928$  приходится на топливо переменного состава. Обратим внимание на то, что удельные выбросы вредных веществ с отработавшими газами ниже для смесевого топлива переменного состава.

По полученным расчетно-экспериментальным исследованиям распределения оптимального состава смесевого топлива на режимах 8-ми ступенчатого испытательного цикла ЕЭК ООН № 96 построим базовую характеристику оптимального соотношения компонентов смесевого топлива. Для реализации полученной базовой характеристики на режимах, отличных от режимов 8-ми ступенчатого испытательного цикла, использованы методы линейной интерполяции и экстраполяции. Полученная характеристика представлена на рисунке 2.

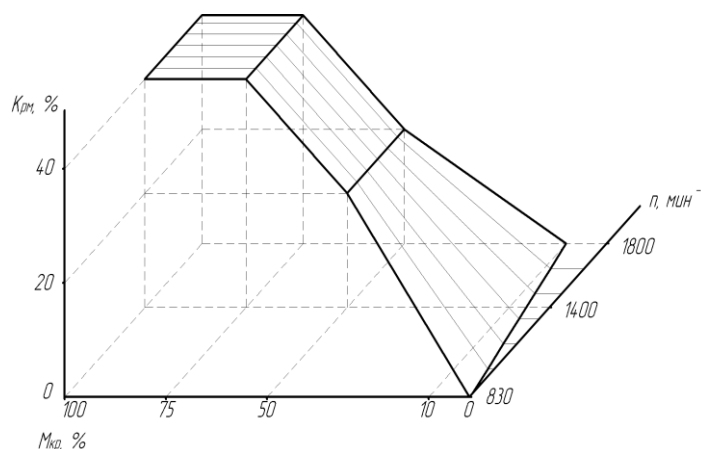


Рис. 2. Распределение оптимального состава смесевого топлива дизеля Д-245.5С2 в зависимости от частоты вращения и нагрузки

Видно, что для получения минимальных значений экологических показателей на режимах с малыми нагрузками дизель должен работать на чистом дизельном топливе. С увеличением нагрузки концентрация рапсового масла в смеси с дизельным топливом должна возрастать. Так, при нагрузке 50 % концентрация масла должна быть 20 %, а при нагрузке 75 % и более необходимо использовать смесь с концентрацией рапсового масла в дизельном топливе 40 %.

Чтобы осуществить изменение концентрации рапсового масла в смесевом топливе в зависимости от режима работы дизеля по полученной характеристике (см. рис. 2), была разработана система регулирования, которая учитывает характер работы двигателя и имеет достаточную скорость реакции на изменение нагрузочного и скоростного режима работы дизеля [8].

Нами были проведены испытания разработанной системы регулирования на двигателе Д-245.5С2 по методике ЕЭК ООН № 96. По результатам эксперимента были рассчитаны эффективные показатели работы дизеля, значения удельных выбросов основных токсичных компонентов и обобщённый критерий оптимальности при работе двигателя на смесевом топливе по выражениям (5)...(8), (11). Результаты расчётов приведены в таблицах 6, 7.

Таблица 6

Значение параметров работы дизеля Д-245.5С2 с системой регулирования состава смесевого топлива на режимах 8-ми ступенчатого испытательного цикла

№ режима	$\eta_e$	Выбросы вредных веществ, г/ч		
		$E_C$	$E_{NOx}$	$E_{CO}$
1	0,366	11,87	422,35	187,35
2	0,374	6,39	333,94	132,14
3	0,345	1,71	244,97	39,07
4	0,171	0,29	60,63	47,57
5	0,383	55,79	409,05	211,39
6	0,416	7,13	371,05	88,93
7	0,414	0,88	246,85	25,46
8	0,027	0,03	23,13	12,12

Таблица 7

Значения параметров работы дизеля Д-245.5С2 и обобщённого критерия оптимальности при работе двигателя с системой регулирования

Тип топлива	$\eta_{e, усл}$	Выбросы вредных веществ, г/кВт·ч			$K_0$
		$e_C$	$e_{NOx}$	$e_{CO}$	
Смесевое топливо переменного состава (базовая характеристика), см. рисунок 2	0,340	0,229	6,385	2,242	2,928
Смесевое топливо переменного состава (характеристика с системой регулирования), рисунок 3	0,340	0,229	6,392	2,264	2,937

В результате настройки и проведения моторных стендовых испытаний устройства регулирования получена характеристика распределения состава смесевого топлива, несколько отличающаяся от базовой (рис. 3). Вследствие чего обобщённый критерий оптимизации, удельные выбросы оксида азота и оксида углерода оказались выше, чем для базовой характеристики, на 0,3, 0,1 и 0,9 % соответственно.

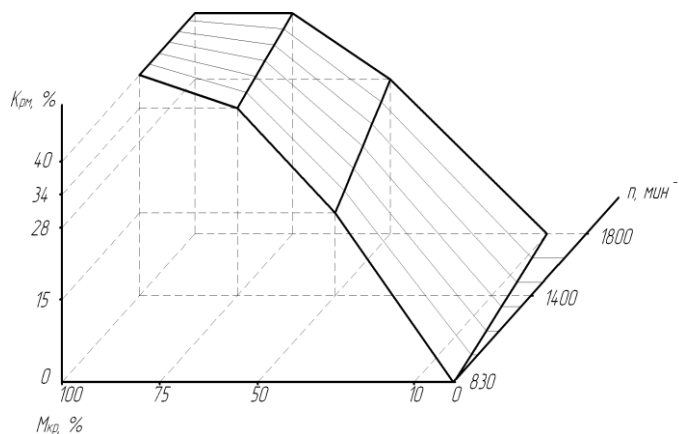


Рис. 3. Распределение состава смесового топлива дизеля Д-245.5С2

в зависимости от частоты вращения и нагрузки при работе двигателя с системой регулирования

Сравним эффективность снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами при работе дизеля на чистом дизельном топливе и смесовом топливе постоянного состава, имеющем наименьший обобщённый критерий оптимальности (60 % ДТ с 40 % РМ) с работой дизеля, оборудованного системой регулирования состава смесового топлива. Предложенная система регулирования позволяет получить обобщённый критерий оптимизации ниже по сравнению с работой двигателя на дизельном топливе на 12,6 % (3,362 против 2,937) по сравнению с работой на смеси, состоящей из 60 % дизельного топлива и 40 % рапсового масла – на 1,7 % (2,987 против 2,937). Соответственно происходит уменьшение выбросов вредных веществ. Так, количество сажи в отработавших газах при установке разработанного устройства снижается на 38,3 % (0,371 г/кВт·ч против 0,229 г/кВт·ч) по сравнению с работой двигателя на чистом дизтопливе.

При сравнении работы дизеля на смеси, состоящей из 60 % дизельного топлива и 40 % рапсового масла с работой дизеля, оборудованного системой регулирования, наблюдается снижение выбросов сажи на 2,1 % (0,234 г/кВт·ч против 0,229 г/кВт·ч). Выбросы оксида углерода снижаются на 13,8 % (2,626 г/кВт·ч против 2,264 г/кВт·ч) при сравнении работы двигателя на чистом дизтопливе и с устройством регулирования состава смесового топлива и на 3,5 % (2,346 г/кВт·ч против 2,264 г/кВт·ч) при сравнении устройства регулирования с смесовым, состоящим из 60 % дизельного и 40 % рапсового масла. Установка устройства на двигатель снижает выбросы оксида азота. Так, по сравнению с работой на смесовом топливе, содержащем 40 % рапсового масла, устройство позволяет уменьшить выбросы  $\text{NO}_x$  на 2,8 % (6,575 г/кВт·ч против 6,392 г/кВт·ч), однако по сравнению с дизельным процессом выбросы увеличены на 0,5 % (6,359 г/кВт·ч против 6,392 г/кВт·ч).

Эксплуатационные испытания системы регулирования на тракторе «БЕЛАРУС 922» показали работоспособность системы в реальных условиях. При этом погектарный расход топлива с установкой устройства регулирования увеличился как при работе с плугом на 5,7 %, так и при работе с АКШ – на 5,4 %. Это увеличение связано с подачей устройством регулирования состава смесового топлива к силовой установке трактора топлива, состоящего из 60 % дизельного и 40 % рапсового масла.

Анализируя изменение расхода чистого дизельного топлива, можем увидеть, что на вспашке он снизился на 4,34 кг, или на 36,6 %, а при работе с АКШ на 1,69 кг, или на 36,7 %. Выбросы твёрдых частиц снизились на 28,2 % при вспашке и на 38 % при предпосевной обработке почвы. Наблюдалось снижение выбросов СО при работе трактора с АКШ-3,6-01 на 24,9 %. На вспашке выбросы оксида углерода не изменились. Однако при применении устройства регулирования наблюдалось увеличение выбросов окислов азота при работе с плугом на 8,4 %, а при работе с АКШ на 9,5 %.

**Заключение.** В результате проведенного исследования разработаны методики многокритериальной оптимизации состава смесовых видов топлива и определения базовой характеристики оптимизации соотношения компонентов смесового топлива, базирующиеся на составлении обобщённого критерия оптимальности в виде суммы частных, характеризующих эффективный КПД дизеля и удельные массовые выбросы сажи, оксидов азота и оксида углерода. Методики позволили определить необходимое соотношение компонентов смесового топлива для каждого из режимов работы тракторного дизеля Д-245.5С2.

Также разработано и изготовлено устройство регулирования состава смесового топлива, позволяющее получить характеристику регулирования, близкую к базовой, при этом обобщённый критерий оптимизации при работе силовой установки трактора с устройством ниже по сравнению с работой на дизельном топливе на 12,6 %, по сравнению с работой на смеси, состоящей из 60 % дизельного и 40 % рапсового масла – на 1,7 %, что привело к снижению выбросов сажи на 38,3 %, оксида углерода на 13,8 %. Установка устройства на двигатель снижает выбросы оксида азота. Так, по сравнению с работой на смесовом топливе, содержащем 40 % рапсового масла, устройство позволяет уменьшить выбросы  $\text{NO}_x$  на 2,8 %, однако по сравнению с дизельным процессом выбросы увеличены на 0,5 %.

Установка устройства регулирования на трактор позволила снизить расход чистого дизельного топлива на 36,6 %. Выбросы твёрдых частиц снизились на 28,2 % при вспашке и на 38 % при предпосевной обработке почвы. Наблюдалось снижение выбросов СО при работе трактора с АКШ-3,6-01 на 24,9 %. На вспашке выбросы оксида углерода не изменились. Однако при применении устройства регулирования наблюдалось увеличение выбросов окислов азота при работе с плугом на 8,4 %, а при работе с АКШ на 9,5 % и погектарного расхода смесового топлива на 5,7 % при работе с плугом и на 5,4 % при работе с АКШ.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Карташевич, А.Н. Возобновляемые источники энергии: науч.-практ. пособие / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка. – Горки: БГСХ, 2007. – 264 с.
2. Vellguth, G. Eignung von pflanzenolen und pflanzenolderivaten als krasftstoff fur dieselmotoren / G. Vellguth // Grundlagen der landtechnik. – 1982. – Jg. 32, № 5. – S. 177 – 186.
3. Карташевич, А.Н. Расчетно-теоретические исследования влияния состава смесевых топлив на основе рапсового масла на эксплуатационные показатели тракторного дизеля Д-245.5S2 / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – Горки. – 2010. – № 3. – С. 126 – 131.
4. Ефанов, А.А. Улучшение экологических характеристик дизеля регулированием состава смесевое биотоплива: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.А. Ефанов. – М., 2008. – 127 с.
5. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей от сжатия для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах в отношении выбросов загрязняющих веществ этими двигателями: Правила ЕЭК ООН № 96. – Введ. 01.07.2002. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 117 с.
6. Карташевич, А.Н. Зависимость оптической плотности отработавших газов автотракторных двигателей от массового содержания в них частиц сажи / А.Н. Карташевич, В.А. Белоусов, А.А. Сушнёв // Экология и жизнь (наука, образование, культура): междунар. сб. ст. / НовГУ им. Ярослава Мудрого; отв. ред. Н.Н. Семчук. – 1998. – Вып. 4. – С. 6 – 16.
7. Николаенко, А.В. Теория, конструкция и расчёт автотракторных двигателей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1992. – 414 с.
8. Система регулирования состава смесевое топлива для дизельного двигателя с наддувом: пат. на полезную модель № 6626 / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. с.-х. акад.; заявл. 04.01.2010; зарегистрир. в гос. реестре полезных моделей 29.06.2010; опубл. 30.10.2010 // Афіцыйны бюл.: Вынаходніцтвы. Карысныя мадэлі. Прамысловыя узоры. – Минск: Дзярж. пат. камітэт Рэсп. Беларусь. – 2010. – № 5. – 4 с.

Поступила 11.03.2011

**IMPROVEMENT OF OPERATIONAL PARAMETERS OF A WHEEL TRACTOR  
BY USING MIXED FUEL OF VARIABLE STRUCTURE**

**A. KARTASHEVICH, V. BELOUSOV, V. TOVSTYKA**

*In article the necessity of regulation of structure of mixed fuel (MF) depending on an operating mode of a tractor is proved. Methods of multicriteria optimization of structure mixed kinds of fuel and definition of the base characteristic of optimization of a blending ratio MF allowing to determine the necessary parity of components for each of operating regimes of a power-plant of a tractor are developed. Test results of the engineered device of regulation of structure MF on diesel engine D-245.5S2 and a tractor «BELARUS 922» are described.*