

УДК 631.372 (662.6/8)

**А. Н. Карташевич, д-р техн. наук, проф., В. А. Белоусов, канд. техн. наук, доц.,
В. С. Товстыка**

ИЗМЕНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАКТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ЕГО РАБОТЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ

В статье приводятся результаты теоретических исследований по обоснованию необходимости изменения концентрации рапсового масла в смесевом топливе в зависимости от режима работы трактора, представлена аналитическая зависимость, позволяющая обосновать необходимость изменения концентрации рапсового масла в смесевом топливе в зависимости от режима работы трактора и связывающая динамическую испаряемость топлива с приведенным вихревым отношением, скоростью движения трактора и силой тяги на крюке.

Введение

Самостоятельно трактор не выполняет никаких агротехнических операций. Он работает только с навесными или прицепными машинами, являясь, таким образом, составной частью машинно-тракторного агрегата. Поэтому при рассмотрении тяговых характеристик трактора всегда следует учитывать влияние агрегатируемой машины.

При неустановившемся движении трактора с колёсной формулой 4×2 в агрегате с прицепными или навесными машинами на трактор действуют следующие силы и моменты: масса отдельных частей трактора и навесной машины, силы инерции агрегата и моменты касательных сил инерции вращающихся масс трактора и агрегата в целом, тяговые сопротивления агрегатируемой машины, сопротивление воздуха и реакция грунта на движитель [1, с. 68–69].

Развиваемый двигателем крутящий момент передаётся через механизмы трансмиссии к ведущим колёсам. Движение трактора происходит за счёт возникновения касательной силы тяги R_k между движителем трактора и грунтом.

В качестве силовой установки тракторов в основном используют дизельные двигатели. Крутящий момент в силовой установке возникает за счёт преобразования химической энергии

топлива в механическую энергию вращения коленчатого вала. Крутящий момент на каждом из режимов работы дизеля определяется количеством энергии, вводимой в цилиндр с цикловой дозой топлива. При изменении химического состава и физических свойств топлива протекание процессов впрыскивания, распыливания и смесеобразования изменится, что повлечёт за собой изменение крутящего момента силовой установки, тяговых и топливно-экономических качеств трактора.

Влияние трактора на окружающую среду в период его эксплуатации разносторонне. Трактор уплотняет почву, создаёт шум, выбрасывает в атмосферу всевозможные вредные вещества.

При движении трактора по полю его движитель образует пятно контакта, через которое происходит передача массы машины на землю, что приводит к её уплотнению. Неоднократное воздействие движителей на почву приводит к накоплению деформации не только в пахотных, но и в подпахотных горизонтах (0,4...0,6 м). Переуплотнение в подпахотном слое препятствует проникновению влаги в глубь почвы и приводит к водной эрозии или заболачиванию. При нарушении притока влаги из более глубоких слоёв к поверхности может происходить быстрое высыхание почвы и ветровая эрозии. Такого

рода нарушения приводят к тому, что корневая система растений недополучает воду из подпахотного слоя, и происходит снижение урожая сельскохозяйственных культур [2, с. 7].

Негативно воздействуют на окружающую среду и здоровье оператора шумы, производимые трактором. Источниками шума на тракторе являются двигатель, агрегаты трансмиссии, системы впуска и выпуска двигателей, вентиляторы системы охлаждения. Шум вызывает утомляемость механизатора, а при длительном воздействии – профессиональные заболевания, являясь одной из причин снижения производительности труда. Звуковые вибрации конструкции (структурный шум) при непосредственном воздействии также оказывают вредное влияние на человека, кроме того, могут вызывать ослабление крепежа, усталостные поломки, выход из строя контрольно-измерительных и осветительных приборов и т. д. [3, с. 238–243].

Наибольший вред окружающей среде при эксплуатации трактора приносит его силовая установка. Отработавшие газы (ОГ) дизелей содержат более 1000 токсичных компонентов, большую часть из которых представляют различные углеводороды. Токсичные вещества дизелей составляют 0,02...1 % объема ОГ. Токсичные компоненты ОГ силовых установок тракторов наносят значительный вред здоровью человека. Продукты сгорания топлива могут накапливаться в воде, растениях и почве [4]. В воздухе они могут превращаться в другие вещества, которые в определенных условиях могут быть более токсичными, чем исходные продукты.

Загрязнение окружающей среды токсичными компонентами ОГ силовых установок тракторов приводит к снижению продуктивности животноводства и ухудшению качества продукции. При подвозе кормов транспорт с дизельными двигателями входит в животновод-

ческие помещения. Опасные для живых организмов газы собираются внизу, образуя смоги, которые беспокоят животных, действуют на их аппетит, снижают удои и привесы [5].

Воздействие ОГ ДВС на растительность обусловлено попаданием ОГ как на поверхность растений, так и в клетки (с почвенными водами). Особенно растения чувствительны к оксидам серы, оксидам азота, а также к соединениям оксидов азота с углеводородами.

Состав ОГ тракторов в большой мере зависит от типа используемого топлива. В настоящее время перспективные моторные виды топлива – рапсовое масло и его смеси с дизельным топливом. Рапсовое масло имеет ряд достоинств: оно не токсично и не огнеопасно, не содержит сернистых соединений, является возобновляемым топливом. Использование его в тракторах возможно и перспективно [6]. Поскольку адаптировать новые топлива к существующим тракторам достаточно сложно, целесообразно оценить приспособляемость силовых установок тракторов к альтернативным видам топлив. С этой целью необходимо выявить зависимости показателей работы трактора от показателей качества топлива.

Основная часть

Практически во всех существующих дизелях, реализующих смесеобразование от объёмного до пристеночного, процесс смешения топлива с воздухом является определяющим для обеспечения полного и эффективного сгорания. Горение в дизелях в основном можно охарактеризовать как процесс, регулируемый смешением топлива, т. е. время, требуемое для этой стадии, больше времени химического реагирования [7, с. 176].

Анализируя процессы смесеобразования, используем относительную оценку его совершенства как условие достижения минимального удельного

расхода топлива и минимального содержания сажи в ОГ [7].

Известно [7, 8], что любую существующую модель дизеля с присущими ей параметрами смесеобразования, топливоподачи и конструкции можно оценить по степени доведенности рабочего процесса или совершенства смесеобразования, т. е. степени согласования интенсивности вихревого движения заряда, длительности впрыскивания и угла раскрытия топливных струй. В [9] предложено для оценки степени доведенности рабочего процесса использовать отношение δ/δ_o . Для дизелей с наддувом это соотношение примет вид [7, с. 149]:

$$k = \delta \cdot \sqrt{\pi_k} / \delta_o, \quad (1)$$

где δ – приведенное вихревое отношение; π_k – степень повышения давления при наддуве; δ_o – расчётный параметр.

При работе на чистом дизельном топливе (ДТ) для дизелей существует частота вращения, при которой удельный расход топлива и содержание сажи в отработавших газах стремятся к минимуму. Также можно предположить, что на этом режиме и другие токсичные компоненты ОГ будут минимальны. Для этого режима с достаточной степенью точности справедливо выражение [7; 9, с. 149, 179]

$$k = \delta \cdot \sqrt{\pi_k} / \delta_o \rightarrow 1. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что существует соотношение между скоростью вихревого движения заряда в КС, количеством и степенью испарения топлива, обеспечивающее оптимальное смесеобразование и наименьшие параметры топливной экономичности и токсичности ОГ.

В [8] предложено это соотношение характеризовать параметром

$$Z = \omega_{kc} / (m_v / q_u)_{enp}, \quad (3)$$

где ω_{kc} – максимальная скорость вихря в КС в ВМТ; m_v – количество испарившегося топлива в момент окончания впры-

скивания; q_u – цикловая подача топлива топливным насосом высокого давления, см³/цикл.

При изменении режима работы дизеля изменяется и значение этого параметра. Однако при переходе на другие частоты вращения должно выполняться условие

$$\delta n / (m_v / q_u)_{enp} \approx idem, \quad (4)$$

где $(m_v / q_u)_{enp}$ – динамическая испаряемость топлива за время, соответствующее φ_{enp} [10, с. 58].

Рассмотренные нами соотношения свидетельствуют о том, что при изменении режима работы дизеля или при переходе его работы на другие виды топлива нарушается оптимальное протекание процессов смесеобразования и сгорания. Достижение минимального значения g_e в этих случаях будет наблюдаться при выполнении условия (4). При этом значение безразмерного параметра $\delta n / i_{v,i}$ нужно выбирать для режима, где $k \rightarrow 1$ [7].

Приведенное вихревое отношение можно определить, согласно [9], из выражения

$$\delta = (\omega_{kc} / \omega_{dв}) \cdot (d_{kc} / d)^2, \quad (5)$$

где d – диаметр цилиндра; d_{kc} – диаметр камеры сгорания; $\omega_{dв}$ – угловая частота вращения коленчатого вала двигателя; ω_{kc} – максимальная скорость вихря в КС в ВМТ [7],

$$\omega_{kc} = \omega_u (d / d_{kc})^2 \cdot (d_{kc} / d)^{(0,047\Gamma_{cp})0,83} \times \\ \times 0,77 d^{0,05} / (1 + \gamma_{ост}), \quad (6)$$

где $\gamma_{ост}$ – коэффициент остаточных газов; Γ_{cp} – циркуляция вектора скорости [7, с. 142],

$$\Gamma_{cp} = \frac{1}{2} \pi \cdot \omega_u \cdot d^2, \quad (7)$$

где ω_u – угловая скорость вращения заряда в цилиндре в конце такта впуска.

Параметр δ_o определяется по формуле [9]

$$\delta_o = \sqrt{\delta_{co} \cdot \delta_y}, \quad (8)$$

где δ_{co} – приведенное вихревое отношение, соответствующее повороту вихря за время впрыскивания,

$$\delta_{co} = 360 / (i_{co} \varphi_{впр}), \quad (9)$$

где i_{co} – число сопловых отверстий штатной форсунки; $\varphi_{впр}$ – угол, соответствующий впрыскиванию; δ_γ – приведенное вихревое отношение,

$$\delta_\gamma = 2 / \pi \cdot S / d \cdot \ln(90 / (180 - \gamma_\epsilon)), \quad (10)$$

где S – ход поршня.

Суммарный угол раскрытия топливных струй γ_ϵ определяется по формуле [9]

$$\gamma_\epsilon = 180 - 90 \exp[-d_{kc} / d \times (1 + \pi / 2 \cdot d / s \cdot \delta)]. \quad (11)$$

Результаты расчётов по формулам (1)...(11) сведены в табл. 1.

Анализ данных расчета параметра k по выражениям (4)...(9), приведенных в табл. 1, показывает справедливость зависимости (2).

Табл. 1. Данные расчета параметров взаимосвязи показателей качества топлива с параметрами рабочего цикла дизеля

n , мин ⁻¹	d_{kc} , м	d , м	i_{co}	ω_{kc} , с ⁻¹	ω_{det} , с ⁻¹	δ	γ_ϵ , град	δ_γ	δ_{co}	δ_α	k
1800	0,038	0,11	5	1478	188,4	1,96	165,92	1,34	4	2,32	1,0081
1700	0,038	0,11	5	1368	177,9	1,92	165,53	1,32	4	2,30	0,9952
1600	0,038	0,11	5	1297	167,5	1,94	165,67	1,33	4	2,31	0,9979
1500	0,038	0,11	5	1208	157,0	1,92	165,55	1,32	4	2,30	0,9854
1400	0,038	0,11	5	1116	146,5	1,90	165,35	1,31	4	2,29	0,9731
1200	0,038	0,11	5	1068	125,6	2,13	167,43	1,42	4	2,39	1,0314

Действительно, значение k наиболее близко к 1 при частоте вращения 1600 мин⁻¹, что согласуется со стендовыми испытаниями двигателя. При данной частоте вращения удельный расход топлива минимальный и значения выбросов токсичных компонентов низкие.

Перевод дизеля на работу на смешанные топлива на основе РМ будет сопровождаться неизбежным нарушением оптимального процесса смесеобразования.

В [9] показано, что уменьшение испаряемости топлива при утяжелении его фракционного состава позволяет повысить потребную скорость движения воздушного заряда.

Согласно [7], изменение удельного расхода топлива по скоростной характеристике меняется в зависимости от испаряемости топлива примерно в соответствии с выражением

$$\omega_{kc} i_{v,i} \approx idem, \quad (12)$$

где $i_{v,i}$ – доля испарившегося топлива за ПЗВ (динамическая испаряемость топлива) [10, с. 58], $i_{v,i} \approx m_{v,i} / q_u$.

Минимум удельного расхода топлива по скоростной характеристике с утяжелением фракционного состава топлива смещается в сторону больших частот вращения.

Согласно [7, с. 233], динамическая испаряемость дизельного топлива $i_{v,i,dm} = 0,68$. Оценить сравнительную испаряемость смешанного топлива на основе рапсового масла и дизельного топлива можно по изменению температуры выкипания 50 % топлива по кривой разгонки [7, с. 233]:

$$\frac{i_{v,i,DT}}{i_{v,i,CM}} = \frac{T_{50,CM}}{T_{50,DT}}, \quad (13)$$

где $i_{v,i,ДТ}$, $i_{v,i,см}$ – динамические испаряемости дизельного и смесового видов топлива; $T_{50,ДТ}$, $T_{50,см}$ – температуры выкипания 50 % дизельного и смесового видов топлива.

Преобразуя выражение (13), получим формулу для расчёта динамической испаряемости смесовых топлив на основе рапсового масла:

$$i_{v,i,см} = \frac{i_{v,i,ДТ} \cdot T_{50,ДТ}}{T_{50,см}}. \quad (14)$$

В [7] показано, что при переходе дизеля для работы с ДТ на топливо с другим фракционным составом условие достижения минимального удельного расхода топлива выражается зависимостью вида

$$i_{v,i} \cdot n \cdot \delta / \delta_0 = idem. \quad (15)$$

Однако изменение рабочего цикла дизеля с целью снижения удельного расхода топлива обычно приводит к уменьшению содержания в ОГ сажи (твёрдых частиц) и СО [1, с. 200]. Поэтому выполнение выражения (15) при переходе дизеля на топливо с другим фракционным составом будет также являться условием достижения минимального значения экологических показателей работы дизеля.

Выражение (15) не позволяет достоверно оценивать изменение эксплуатационных показателей работы дизеля по нагрузочным характеристикам. Для того чтобы иметь возможность оценить влияние нагрузки на двигатель при одинаковой частоте вращения, в формулу (15) необходимо ввести показатель значения крутящего момента на валу дизеля $M_{кр}$. С уменьшением нагрузки на двигатель снижается цикловая подача топлива, следовательно, уменьшается среднее давление впрыска форсункой, что приводит к снижению качества распыла топлива и, соответственно, к необходимости повышения интенсивности вихревого движения в цилиндре двига-

теля. В связи с этим предположим, что при переходе дизеля для работы с ДТ на топливо с другим фракционным составом условие достижения минимального удельного расхода топлива и низких значений токсичных компонентов выражается зависимостью вида

$$N = i_{v,i} \cdot n \cdot M_{кр} \cdot \delta / \delta_0 = idem. \quad (16)$$

Из формулы (16) следует, что при работе дизеля на смесовых видах топлива на основе РМ для сохранения параметров работы дизеля на высоком уровне при небольших нагрузках и частотах вращения коленчатого вала дизеля можно уменьшить концентрацию РМ в смесовом топливе (динамическая испаряемость топлива $i_{v,i}$ будет снижаться), т. е. облегчить фракционный состав топлива [11].

Выражение (16) отражает только направление изменения концентрации РМ в смесовом топливе, но не численные значения частоты вращения и крутящего момента в зависимости от режима работы двигателя. Окончательный вывод о влиянии смесового топлива на основе рапсового масла на изменение топливной экономичности и экологические показатели дизеля и численные значения концентраций РМ в смесовом топливе на каждом из режимов работы двигателя могут дать экспериментальные исследования.

Дизельный двигатель является основной силовой установкой для сельскохозяйственных и промышленных тракторов. Тракторы в период эксплуатации выполняют работы с различными агрегатами и орудиями, требующими изменения как нагрузочного, так и скоростного режима работы дизеля. Однако для получения наибольшей отдачи от трактора при эксплуатации и снижения затрат стремятся вывести работу его силовой установки на определённый оптимальный режим. Изменение показателей качества топлива повлечёт за собой изменения режима работы дизеля и, со-

ответственно, для сохранения оптимальных параметров работы силовой установки изменение режима работы трактора. В формуле (16) показатели частоты вращения и крутящего момента с учетом известных зависимостей [1, с. 165, 168] заменим на действительную скорость движения трактора и силу тяги на крюке.

Тогда для получения низких удельных показателей расхода топлива и токсичных компонентов при переходе трактора для работы с ДТ на топливо с другим фракционным составом должно

выполняться следующее условие:

$$N = i_{v,i} \cdot \frac{\delta}{\delta_o} \cdot \frac{3 \cdot 10^4}{\pi \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \cdot \eta_{mp}} \times \\ \times V_o \cdot (P_{кр} + P_f) = idem. \quad (17)$$

Рассчитаем показатель N по формуле (17) для работы трактора с разными силами тяги на крюке и скоростями движения для ДТ и смесевых топлив с содержанием РМ 10, 20, 30 и 40 % (табл. 2).

Табл. 2. Данные расчета параметра N на различных режимах работы трактора

V_o , км/ч	$P_{кр}$, кН	Значение параметра $N = i_{v,i} \cdot \eta \cdot M_{кр} \cdot \delta \cdot \delta_o$				
		100 % ДТ	90 % ДТ + 10 % РМ	80 % ДТ + 20 % РМ	70 % ДТ + 30 % РМ	60 % ДТ + 40 % РМ
6,9	22,5	1679329	1622980	1571411	1494067	1410744
7,2	15,3	1139567	1101329	1066335	1013851	957309
7,5	8,2	685510	662508	641457	609885	575872
5,4	22,5	1260890	1218582	1179862	1121790	1059229
5,6	15,3	852892	824273	798083	758802	716484
5,9	8,2	495660	479028	463807	440979	416386

Лучшее смесеобразование соответствует большему значению параметра N [11]. Для оптимальной работы трактора необходимо, чтобы усилие на крюке и скорость движения были наибольшими, то есть соответствовали номинальному режиму работы дизеля (см. табл. 2). При небольшом изменении скорости движения трактора и значительном снижении нагрузки на крюке показатель N снижается. То же самое наблюдается при неизменном $P_{кр}$ и уменьшении V_o . Так, при работе трактора на СТ, состоящем из 60 % ДТ и 40 % РМ, при $P_{кр} = 8,2$ кН и $V_o = 7,5$ км/ч показатель $N = 575872$. Для поддержания трактором этого режима работы можно увеличить показатель N уменьшив концентрацию РМ в СТ, и при работе на чистом ДТ показатель N примет значение 685510. Поэтому для улучшения

показателей работы трактора на смесевом топливе при изменении нагрузки на крюке и скорости движения необходимо изменять концентрацию РМ в СТ. Значения концентрации РМ в СТ в зависимости от режима работы трактора можно определить, проведя ряд необходимых экспериментов.

Теоретические исследования были подтверждены данными, полученными экспериментальным путем. Авторами были проведены моторные стендовые испытания дизеля Д-245.5С2 по 8-ступенчатому испытательному циклу правил ЕЭК ООН № 96 на ДТ, СТ с концентрацией РМ в ДТ 20 и 40 % и при работе дизеля с системой регулирования состава СТ (табл. 3).

Система регулирования состава СТ на основе РМ позволяет подавать на режимах с повышенной частотой вра-

шения и нагрузкой топливо, состоящее из 60 % ДТ и 40 % РМ; при снижении нагрузки и частоты вращения концен-

трация РМ в смеси снижается, и на холостом режиме и близких к нему в дизель подаётся чистое ДТ.

Табл. 3. Значения параметров работы дизеля Д-245.5С2 и обобщенного критерия оптимальности для исследуемых видов топлива

Тип топлива	$\eta_{\text{еул}}$	Выброс вредных веществ, г/(кВт·ч)		
		e_c	e_{NO_x}	e_{CO}
ДТ	0,365	0,371	6,359	2,626
Смесь 20 % ДТ и 80 % РМ	0,366	0,261	6,287	2,541
Смесь 60 % ДТ и 40 % РМ	0,366	0,234	6,573	2,346
Работа дизеля на СТ переменного состава	0,366	0,229	6,392	2,251

Сравним эффективность снижения выбросов ВВ с ОГ при работе дизеля на чистом ДТ и на СТ постоянного состава (60 % ДТ с 40 % РМ) с работой дизеля, оборудованного системой регулирования состава СТ. Предложенная система регулирования позволяет уменьшить выбросы ВВ. Так, количество сажи в ОГ при регулировании концентрации РМ в СМ снижается на 38,3 % (0,371 г/(кВт·ч) против 0,229 г/(кВт·ч)) по сравнению с работой двигателя на чистом ДТ. При сравнении работы дизеля на смеси, состоящей из 60 % ДТ и 40 % РМ, 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 14,2 % (2,626 г/(кВт·ч) против 2,251 г/(кВт·ч)) при сравнении работы двигателя на чистом ДТ с устройством регулирования состава СТ и на 4 % (2,346 г/(кВт·ч) против 2,251 г/(кВт·ч)) при сравнении устройства регулирования со смесевым топливом, состоящем из 60 % ДТ и 40 % РМ. Установка устройства на двигатель снижает выбросы оксида азота. Так, по сравнению с работой на СТ, содержащем 40 % РМ, устройство позволяет уменьшить выбросы NO_x на 2,8 % (6,573 г/(кВт·ч) против 6,392 г/(кВт·ч)), однако по сравнению с дизельным про-

цессом выбросы увеличены на 0,5 % (6,359 г/(кВт·ч) против 6,392 г/(кВт·ч)).

Заключение

1. Приводится аналитическая зависимость, связывающая динамическую испаряемость топлива с приведенным вихревым отношением, скоростью движения трактора и силой тяги на крюке, показывающая, что улучшить показатели работы трактора на режимах с низкой нагрузкой можно, уменьшив динамическую испаряемость топлива, т. е. снизив концентрацию рапсового масла в смесевом топливе.

2. Теоретические исследования подтверждены экспериментально. Регулирование состава смесевое топлива позволяет снизить выбросы сажи и оксида углерода на 38,3 и 14,2 % соответственно, выбросы оксидов азота NO_x по сравнению с дизельным процессом увеличить на 0,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуськов, В. В. Тракторы / В. В. Гуськов. – Минск : Выш. шк., 1977. – Ч. 2. – 384 с.
2. Бондаренко, П. А. Метод выбора параметров и режимов работы колёсного сельскохозяйственного трактора с целью снижения уплотняющего воздействия : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / П. А. Бондаренко. – Липецк, 2005. – 167 с.

3. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет / И. П. Ксеневич [и др.]. – М. : Машиностроение, 1991. – 544 с.

4. **Карташевич, А. Н.** Загрязнение почв тяжелыми металлами вдоль автомагистралей Республики Беларусь / А. Н. Карташевич, В. А. Белоусов, А. А. Сушнеф // Природные ресурсы. – 1998. – № 1. – С. 114–119.

5. **Лиханов, В. А.** Разработка и исследование инженерно-технических средств охраны труда и окружающей среды путем снижения токсичности и дымности отработавших газов трактора класса 6 кН при эксплуатации в животноводческих помещениях : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л. : 1982. – 19 с.

6. **Карташевич, А. Н.** Возобновляемые источники энергии : науч.-практ. пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки : БГСХА, 2007. – 264 с.

7. **Камфер, Г. М.** Научные основы эффективного применения топлив различного со-

става в автотракторных дизелях : дис. ... д-ра техн. наук : 05.04.02 / Г. М. Камфер. – М., 2004. – 369 с.

8. **Камфер, Г. М.** Сравнительный анализ процессов испарения в дизелях с различными способами смесеобразования / Г. М. Камфер // Двигателестроение. – 1985. – № 2. – С. 3–7.

9. **Камфер, Г. М.** Комплексный показатель смесеобразования для дизелей с камерой в поршне / Г. М. Камфер // Двигателестроение. – 1986. – № 4. – С. 1–6.

10. **Камфер, Г. М.** Математическое моделирование процесса сгорания спиртосодержащего топлива в дизеле / Г. М. Камфер, С. А. Плотников. – Киров : Авангард, 2005. – 106 с.

11. **Карташевич, А. Н.** Влияние смешанного топлива на эксплуатационные показатели дизеля при различных режимах работы / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка // Вестн. БГСХА. – 2010. – № 4. – С. 138–142.

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
Материал поступил 19.02.2011

**A. N. Kartashevich, V. A. Belousov,
V. S. Tovstyka**
**Change economic and ecological indicators
of work of a tractor depending on a mode
of its work at use mixed fuels**

In the article results of theoretical researches on a substantiation of necessity of change of concentration rapeseed oils in mixed fuel depending on a tractor operating mode are given. The analytical dependence is resulted, allowing to prove the necessity of change of concentration rapeseed oils in mixed fuel depending on an operating mode of a tractor and connecting dynamic vaporability of fuel with the given swirl ratio and with speed of movement of a tractor and force of draught on a hook.