

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА ПРИ РАБОТЕ НА
БИОНЕФТЯНОМ ТОПЛИВЕ**

**Уханов А.П., доктор технических наук, профессор,
тел. 89272881135, dispgau@mail.ru
ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ**

**Хохлов А.А., кандидат технических наук, доцент
тел. 89997693210, khokhlov.73@mail.ru,
Технологический институт - филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Хохлов А.Л., доктор технических наук, профессор
тел. 89278280897, chochlov.73@mail.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ**

***Ключевые слова:** дизель, нефтяное дизельное топливо, рыжиковое масло, бионефтяное топливо, трактор, машинно-тракторный агрегат, энергозатраты*

В статье рассмотрен вопрос экономии нефтяного дизельного топлива за счет использования в двигателях сельскохозяйственных тракторов бионефтяного топлива, растительным компонентом которого является рыжиковое масло. Предложенные уравнения позволяют рассчитать общие удельные энергозатраты машинно-тракторного агрегата при работе дизеля на бионефтяном топливе и проанализировать влияние различных факторов на их величину с учетом процентного содержания растительного масла и нефтяного дизельного топлива. Применение бионефтяного топлива позволяет экономить товарное нефтяное дизельное топливо на величину замещения его рыжиковым маслом.

Введение. В последние годы ужесточаются не только нормативы по содержанию вредных веществ в отработавших газах автотракторной техники, но и требования к экономии не возобновляемого нефтяного (минерального) моторного топлива. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование в двигателях автотракторной техники дизельного бионефтяного топлива (БНТ), получаемого смешиванием товарного нефтяного дизельного топлива (ДТ) и растительного масла с определенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами [1–3]. При этом растительное масло в БНТ должно выполнять функции биологического

компонента и биологической добавки. К такому растительному маслу относится масло, производимое отжимом из семян рыжика [4–7]. Для работы тракторов на бионефтяном топливе разработаны смесители и двухтопливные системы питания дизелей [8–12]. Однако по причине отличия показателей физико-химических и эксплуатационных свойств дизельного БНТ от аналогичных показателей товарного ДТ применение бионефтяного топлива приводит к некоторому ухудшению мощностных и топливно-экономических показателей дизельного двигателя, что в свою очередь не исключает ухудшение эксплуатационных показателей с.-х. трактора при его работе в составе машинно-тракторного агрегата (МТА). Поэтому представляется важным теоретически оценить эксплуатационные показатели трактора в разрезе общих удельных энергетических затрат МТА при работе на БНТ с различным процентным содержанием рыжикового масла (RM) и товарного нефтяного ДТ (25%RM+75%ДТ, 50%RM+50%ДТ, 75%RM+25%ДТ, 90%RM+10%ДТ).

Материалы и методы исследований. Комплексным показателем, оценивающим эксплуатационные показатели с.-х. трактора в составе МТА при работе дизеля на БНТ, являются общие удельные энергетические затраты (МДж/га):

$$E_o = H_u \cdot g_{za}, \quad (1)$$

где H_u – низшая теплота сгорания БНТ, МДж/кг; g_{za} – погектарный расход БНТ, кг/га.

Низшая теплота сгорания БНТ (смесового минерально-рыжикового топлива) (H_{uCMPT} , МДж/кг) зависит от теплотворной способности и процентного содержания каждого компонента

$$H_{uCMPT} = Q_{ДТ} \cdot H_{uДТ} + Q_{RM} \cdot H_{uRM}, \quad (2)$$

где $Q_{ДТ}$, Q_{RM} – процентное содержание в БНТ нефтяного ДТ и рыжикового масла; $H_{uДТ}$, H_{uRM} – низшая теплота сгорания нефтяного ДТ и рыжикового масла, МДж/кг.

Погектарный расход БНТ:

$$g_{za} = \frac{G_T}{W}, \quad (3)$$

где G_T – часовой расход БНТ, кг/ч; W – теоретическая производительность МТА за час сменного времени, га/ч.

Расход БНТ за 1 час работы двигателя в составе МТА:

$$G_T = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где g_e – удельный эффективный расход БНТ, г/кВт·ч; N_e – эффективная мощность дизеля при работе на БНТ, кВт.

При использовании БНТ:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i \cdot \eta_M} = \frac{3600}{(Q_{дт} \cdot H_{удт} + Q_{рм} \cdot H_{урм}) \cdot \eta_i \cdot \eta_M} \quad (5)$$

где η_i , η_M – индикаторный и механический коэффициент полезного действия.

Теоретическая производительность МТА за час сменного времени:

$$W = 0,1 \cdot B_K \cdot V_p \cdot \tau_{см} \quad (6)$$

где B_K – конструктивная ширина захвата МТА, м; V_p – скорость МТА при выполнении работы, км/ч; $\tau_{см}$ – коэффициент использования времени смены ($\tau_{см} = 1$).

При равномерном движении МТА по ровному участку поля конструктивная ширина захвата (B_K , м) агрегируемой машины зависит от касательной силы тяги на ведущих колесах трактора (P_K , Н), сил сопротивления перемещения (P_{fTP} , P_{fM} , Н) трактора и агрегируемой машины, удельного тягового сопротивления МТА ($K_{yд}$, кН/м), которое в свою очередь связано с удельным сопротивлением рабочих органов агрегируемой машины (коэффициент K_v , Н/м) и удельным сопротивлением перекатыванию агрегируемой машины (коэффициент K_f , Н/м).

Тогда конструктивную ширину захвата МТА можно рассчитать по формуле

$$B_K = \frac{P_K - (P_{fM} + P_{fTP})}{0,9 \cdot K_O \cdot \left[1 + (V_{pi} - V_O) \cdot \frac{C}{100} \right] \cdot h + g_M \cdot [\lambda_d \cdot f_{TP} \pm \sin \alpha]} \quad (7)$$

где P_K – касательная сила тяги на ведущих колесах трактора, Н; P_{fM} – сила сопротивления качению агрегируемой машины, Н; P_{fTP} – сила сопротивления качению трактора, Н; K_O – сопротивление почвы на один метр ширины захвата машины, Н/м; V_{pi} – рабочая скорость агрегата на i -ой передаче, м/с; V_O – начальная скорость агрегата, м/с; C – темп нарастания удельного сопротивления, %; h – глубина обработки почвы, м; g_M – эксплуатационный вес агрегируемой машины на единицу ширины захвата, Н/м; λ_d – коэффициент, учитывающий величину переноса веса машины на трактор ($\lambda_d = 1$); f_{TP} – коэффициент сопротивления качению трактора; α – угол уклона поля ($\alpha = 0$), град.

В свою очередь, рабочая скорость агрегата равна

$$V_p = 0,377 \cdot \frac{n \cdot r_k}{i_{TP}} (1 - \delta), \text{ км/ч}, \quad (8)$$

где n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} ; r_k – кинематический радиус качения ведущих колес трактора, м; i_{TP} – суммарное передаточное число трансмиссии; δ – коэффициент буксования ведущих колес трактора.

Подставляя выражения (4) – (8) в формулу (3) получим:

$$g_{\omega} = \frac{\frac{3600}{(Q_{DT} \cdot H_{\omega DT} + Q_{RM} \cdot H_{\omega RM}) \cdot \eta_i \cdot \eta_M} \cdot N_e \cdot 10^{-3}}{0,377 \cdot n \cdot (1 - \delta) \times} \times \left(\left(\frac{10^3 \cdot \frac{G_{GDT} + G_{TRM}}{0,03 \cdot n} \cdot n \cdot (Q_{DT} \cdot H_{\omega DT} + Q_{RM} \cdot H_{\omega RM})}{\pi \cdot \tau} - \frac{\pi \cdot V_h \cdot z \cdot (0,08 - 0,005 \cdot \pi \cdot r_{kp} \cdot n)}{30 \cdot \pi \cdot \tau} \right) \cdot i_{TP} \cdot \eta_{TP} - P_{f_{MTA}} \cdot r_k \right) \cdot \tau_{CM} \times \left(0,9 \cdot K_o \left[I + (V_{pi} - V_o) \cdot \frac{C}{100} \right] \cdot h + g_M \cdot [\lambda_d \cdot f_{TP} \pm \sin \alpha] \right) \cdot i_{TP} \quad (8)$$

где G_{DT} , G_{TRM} – часовой расход топлива нефтяного ДТ и рыжикового масла, кг/ч; V_h – объем цилиндра, мЗ; z – число цилиндров; r_{kp} – радиус кривошипа коленчатого вала дизеля, м; τ – количество тактов двигателя; η_{TP} – общий механический коэффициент полезного действия трансмиссии трактора; $P_{f_{MTA}}$ – сила сопротивления качению МТА, Н.

Тогда общие удельные энергозатраты, с учетом формул (2) и (8), будут определяться по формуле

$$E_o = H_{\omega CMPT} \times \frac{\frac{3600}{H_{\omega CMPT} \cdot \eta_i \cdot \eta_M} \cdot N_e \cdot 10^{-3}}{0,377 \cdot n \cdot (1 - \delta) \times} \times \left(\left(\frac{10^3 \cdot \frac{G_{GDT} + G_{TRM}}{0,03 \cdot n} \cdot n \cdot H_{\omega CMPT}}{\pi \cdot \tau} - \frac{\pi \cdot V_h \cdot z \cdot (0,08 - 0,005 \cdot \pi \cdot r_{kp} \cdot n)}{30 \cdot \pi \cdot \tau} \right) \cdot i_{TP} \cdot \eta_{TP} - P_{f_{MTA}} \cdot r_k \right) \cdot \tau_{CM} \times \left(0,9 \cdot K_o \left[I + (V_{pi} - V_o) \cdot \frac{C}{100} \right] \cdot h + g_M \cdot [\lambda_d \cdot f_{TP} \pm \sin \alpha] \right) \cdot i_{TP} \quad (9)$$

Из анализа параметров формулы (9) следует, что на величину общих удельных энергозатрат МТА при работе на БНТ (смесевом минерально-рыжиковом топливе), наряду с другими действующими факторами, наибольшее влияние оказывает низшая теплота сгорания смесевого топлива. В зависимости от нагрузочно-скоростного режима работы МТА величину низшей

теплоты сгорания БНТ можно изменять путем изменения процентного содержания рыжикового масла и нефтяного ДТ.

Результаты исследований. Результаты расчетов общих удельных энергозатрат МТА (трактор МТЗ-82+пflug ПЛН-3-35) при работе на нефтяном ДТ и дизельном БНТ (смесевом рыжико-минеральном топливе) показаны на рисунке.

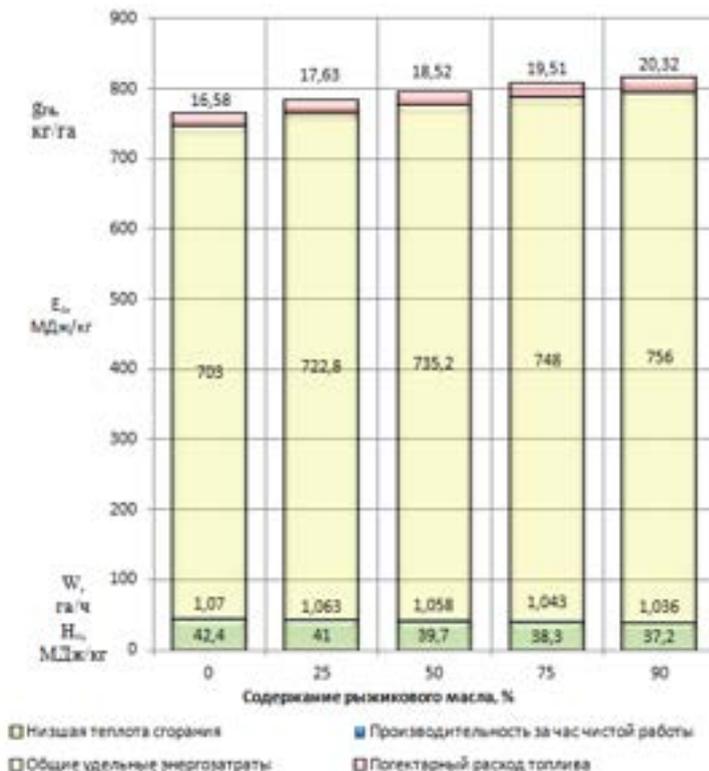


Рисунок – Расчетные эксплуатационные показатели МТА при работе на БНТ и нефтяном ДТ в разрезе общих удельных энергозатрат

Анализ полученных результатов свидетельствует, что при работе МТА на БНТ (смесевом минерально-рыжиковом топливе) с увеличением процентного содержания в нем рыжикового масла общие удельные энергозатраты возрастают, но не существенно. Так, например, общие удельные энергозатраты МТА при работе на СМРТ возрастают: для состава 25%RM+75%ДТ

до 722,8 МДж/га (на 2,7%), а для состава 75%RM+25%ДТ до 748 МДж/га (на 6,4 %) по сравнению с работой на нефтяном дизельном топливе 703 МДж/га.

Заключение. Выполненные расчеты показывают, что по сравнению с товарным нефтяным ДТ применение в дизеле с-х. трактора смешанного минерально-рыжикового топлива, например состава 25%RM+75%ДТ, увеличивает общие удельные энергозатраты МТА с 703 МДж/га до 722,8 МДж/га (на 2,7%). Наряду с мощностными и топливно-экономическими показателями тракторного двигателя энергозатраты МТА являются одним из критериальных показателей при оценке состава БНТ. Применение БНТ в качестве моторного топлива для дизелей позволяет экономить нефтяное ДТ на величину замещения его рыжиковым маслом.

Библиографический список

1. Перспективы использования возобновляемых биологических источников энергии предприятиями АПК России / А.П. Уханов, Е.А. Хохлова, А.А. Хохлов, А.А. Гузьев // *Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы VII Международной НПК.* – Ульяновск: УГСХА, 2016. – С. 238 – 244.
2. Хохлов, А.А. Результаты исследований физических свойств дизельного смешанного топлива на основе рыжикового масла / А.А. Хохлов, А.П. Уханов // *Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: материалы: Международной НПК молодых ученых, посвященная 65-летию ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА.* – Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – С. 87–90.
3. Биодиты – альтернативный вид моторного топлива для тракторных дизелей / А.П. Уханов, В.А. Рачкин, Д.А. Уханов, В.А. Иванов // *Нива Поволжья.* – 2009. – № 2 (11). – С. 71-76.
4. Уханов, А.П. Биотопливо из рыжика: монография / А.П. Уханов, А.А. Хохлов. – Пенза: РИО ПГАУ, 2020. - 192 с.
5. Уханов, А.П. Улучшение экологических показателей дизеля применением дизельного смешанного топлива на основе рыжикового масла / А.П. Уханов, Е.А. Хохлова, А.А. Хохлов // *Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: материалы II Международной НПК.* – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 130 – 133.
6. Методика и результаты трибологических исследований смешанного рыжико-минерального топлива / А.П. Уханов, В.А. Мачнев, Е.Г. Ротанов, А.Л. Хохлов, Д.М. Марьин, А.А. Хохлов // *Наука в центральной России.* – 2018. – №.4. – С. 49 – 56.

7. Устройства для конструктивной адаптации дизелей автотракторной техники к работе на биоминеральном топливе / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Хохлова, А.А. Хохлов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – Вып. 2. – С. 34-40.

8. Патент 2484291 РФ, МПК F 02 M 43/00. Двухтопливная система питания дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.Д. Година, Е.А. Хохлова. – № 2012117807/06; Заяв. 27.04.2012; Оpubл. 10.06.2013, Бюл. № 16.

9. Патент 2429057 РФ, МПК В 01 F 5/06. Смеситель биоминерального топлива / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, В.А. Иванов, Л.М. Благодарина. – №2010105616/05; Заяв. 16.02.2010; Оpubл. 20.09.2011, Бюл. № 26.

10. Патент 2484290 РФ, МПК F 02 M 43/00. Двухтопливная система питания тракторного дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова. – № 2012115021/06; Заяв. 16.04.2012; Оpubл. 10.06.2013, Бюл. № 16.

11. Патент 2582535 РФ, МПК F 02 M 43/00, F 02 D 19/06. Двухтопливная система питания дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, А.А. Хохлов, Е.Г. Ротанов, А.Л. Хохлов. – № 2014152644/06; Заяв. 24.12.2014; Оpubл. 27.04.2016, Бюл. № 12.

12. Патент 2582700 РФ, МПК В 01 F 5/06. Смеситель-дозатор растительного масла и минерального дизельного топлива / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, А.А. Хохлов, Е.Г. Ротанов, А.Л. Хохлов. – № 2014152680/06; Заяв. 24.12.2014; Оpubл. 27.04.2016, Бюл. № 12.

THEORETICAL EVALUATION OF ENERGY CONSUMPTION AGRICULTURAL TRACTOR WORKING ON BIO-OIL FUEL

Ukhanov A.P., Khokhlov A.A., Khokhlov A.L.

Keywords: *diesel, petroleum diesel fuel, camelina oil, bio-oil fuel, tractor, machine and tractor unit, energy consumption.*

The article deals with the issue of saving petroleum diesel fuel through the use of bio-oil fuel in the engines of agricultural tractors, the vegetable component of which is camelina oil. The proposed equations make it possible to calculate the total specific energy consumption of a machine-tractor unit when a diesel engine runs on bio-oil fuel and analyze the influence of various factors on their value, taking into account the percentage of vegetable oil and petroleum diesel fuel. The use of bio-oil fuel allows saving commercial petroleum diesel fuel by the amount of its replacement with camelina oil