

УДК 629.336.063-621.4

А.П. Кравченко, профессор, д-р техн. наук,

Е.С. Ноженко, доцент, канд. техн. наук

*Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
кв. Молодежный, 20 А, г. Луганск, Украина*

Г.А. Вершина, доцент, канд. техн. наук,

А.Ю. Пилатов, доцент, канд. техн. наук

*Белорусский национальный технический университет,
Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65*

**ОБЩАЯ МЕТОДИКА МИНИМИЗАЦИИ ФУНКЦИИ РАСХОДА ТОПЛИВА
МАШИНОТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С ПРИЦЕПОМ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ**

В статье предлагается общая методика минимизации эффективного расхода топлива машинотракторного агрегата. Эффективный расход рассматривается как функция нагрузочного и скоростного факторов при движении машинотракторного агрегата с прицепом переменной массы. Предлагаются основные пути минимизации расхода топлива при выполнении сельскохозяйственных работ при внесении удобрений. Установлена аналитическая взаимосвязь количества топлива, необходимого для совершения технологической операции разгрузки бункера с удобрениями при прохождении трактора пути с учетом уменьшения массы его прицепа, от технико-экономических показателей двигателя, а также передаточным числом трансмиссии и радиусом колес машинотракторного агрегата.

Ключевые слова: *машинотракторный агрегат, переменная масса прицепа, расход топлива при разгрузке прицепа.*

Постановка проблемы. Одной из задач обеспечения экономии топлива тракторов энергетической концепции является повышение эффективности как двигателя и трансмиссии, так и различных его систем — гидросистемы, узлов трансмиссии. Так работа машинотракторного агрегата (МТА) с прицепом переменной массы, осуществляющего, например, разгрузку удобрений, соответствует работе двигателя по регуляторным ветвям скоростных характеристик с переменной частотой вращения коленчатого вала. Рисунок 1 показывает, что экономичность дизельного двигателя при смещении на регуляторную ветвь существенно ухудшается.

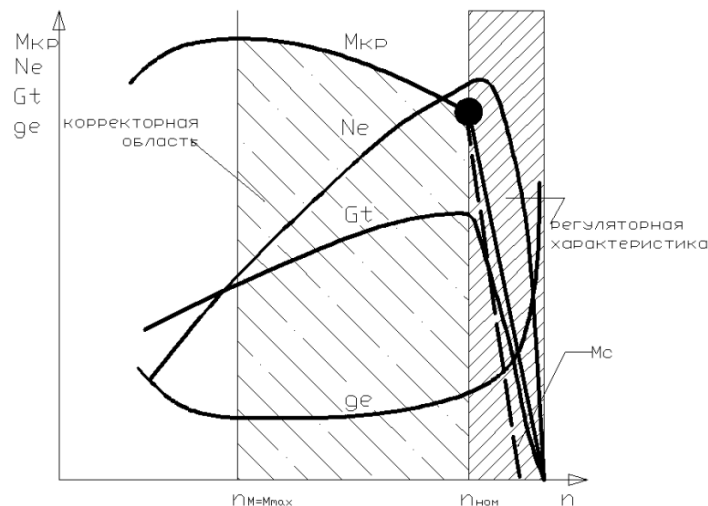


Рисунок 1 – Работа дизельного двигателя по скоростной характеристике с регуляторной ветвью

Анализ литературных источников. Известно [1], что 80-90% общего времени выполняемых сельскохозяйственных работ, занимают переходные процессы, связанные с существенным изменением режимов работы дизеля, отличиями текущих индикаторных и эффективных показателей работы силовой установки от стационарных. Как отмечается [1], неустановившиеся режимы, в частности в дизельных двигателях часто сопровождаются в первую очередь снижением их производительности и экономичности, а также повышением дымности и токсичности отработавших газов. Так к переходным процессам можно отнести работу дизельного двигателя в составе МТА и прицепных машин, например,

при внесении удобрений. При этом масса МТА с прицепом изменяется от максимальной при полной загрузке бункера до минимальной после расхода удобрений из него.

Согласно проведенным расчетам [1] динамики изменения удельного крюкового расхода топлива при изменении (увеличении) составляющих компонентов КПД трактора [2] наиболее значимыми для снижения расхода топлива является увеличение эффективного КПД дизеля, а также тягового КПД тракторного агрегата.

Цель работы. Основной целью работы является установление аналитической взаимосвязи расхода топлива машинотракторного агрегата при выполнении сельскохозяйственных работ по внесению удобрений от технико-экономических показателей работы двигателя и параметров трансмиссии трактора, а также определении основных путей минимизации расхода топлива.

Материалы и результаты исследования. Экономия топлива МТА с прицепом переменной массы в ходе выполнения сельскохозяйственных работ определяется экономичностью работы дизельной силовой установки и производительностью работы МТА с учетом скорости его движения при выполнении данного вида технологических работ.

Экономичность дизельного двигателя, находящегося в составе МТА с прицепом переменной массы, определяется величиной удельного эффективного расхода топлива

$$g_e(p_e, n) = \frac{1000G_t}{N_e}, \quad (1)$$

где p_e – среднее удельное эффективное давление в цилиндре;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

G_t – часовой расход топлива;

N_e – эффективная мощность двигателя.

Величина (1) удельного эффективного расхода топлива существенно зависит от скоростного и нагрузочного режима работы двигателя. Это означает, что в целях экономии топлива может быть рациональным корректировать нагрузку на двигатель со стороны трансмиссии путем изменения режима его работы.

При движении агрегата по почве происходит разгрузка бункера, его масса, а соответственно – сопротивление перекачиванию шин по грунту уменьшается. Следовательно, нагрузка на двигатель тоже уменьшается. В соответствии с вышесказанным, нагрузку выгодно поддерживать:

– за счет подбора оптимальной характеристики дизельного двигателя для указанных условий его эксплуатации в составе МТА;

– за счет изменения режима работы двигателя посредством выбора его режима нагружения при плавном изменении нагрузки, когда рабочий режим смещается в минимальную область расхода топлива по скоростному режиму;

– за счет управления работой трансмиссии, работающей с параллельным валом отбора мощности (ВОМ) при изменении общего передаточного отношения.

Для оценки степени значимости указанных способов управления работой двигателя в составе трансмиссии с параллельным ВОМ определим в качестве целевой функции массу M топлива, расходуемого трактором при движении по пути L выполнения требуемой сельскохозяйственной технологической операции.

Масса топлива M связана с часовым расходом топлива соотношением

$$Gt = \frac{dM}{dt} = 10^{-3} g_e(p_e, n) \cdot N_e(p_e, n). \quad (2)$$

Исходя из соображений практичности и удобства задания начальных условий в уравнении (2) перейдем к переменной L , которая связывается со временем t движения трактора следующими зависимостями

$$v_{mp} = \left(\frac{n_{\text{дв}}(t)}{i_{\text{дв}}} \right) r_k; \quad (3)$$

$$v_{mp} = \frac{dL}{dt}, \quad (4)$$

где v_{mp} – скорость трактора;

$n_{\text{дв}}(t)$ – частота вращения вала двигателя;

$i_{\text{дв}}$ – полное передаточное отношение трансмиссии трактора;

r_k – радиус колеса.

С учетом (4) будем иметь

$$\frac{dM}{dt} = 10^{-3} \frac{(g_e(p_e, n_{\text{дв}}(t)) \cdot M_e(p_e, n_{\text{дв}}(t)))}{9550}. \quad (5)$$

Наконец, (5) запишется с учетом (3) как

$$\frac{dM}{dL} = 10^{-3} \cdot i_{\text{дв}} \frac{(g_e(p_e, n_{\text{дв}}(t)) \cdot M_e(p_e, n_{\text{дв}}(t)))}{9550 \cdot r_k}. \quad (6)$$

Формула (6) дает возможность определить количество топлива, в зависимости от характеристик дизельного двигателя в составе трактора, необходимое для совершения технологической операции разгрузки бункера с удобрениями при прохождении трактора пути L с учетом уменьшения массы его прицепа. В некоторых случаях, с учетом того, что эффективный крутящий момент $M_e(p_e, n_{\text{дв}}(t))$ является функцией

$$M_e = M_e(n_{\text{дв}}(t), \alpha), \quad (7)$$

где α положение органа управления подачей топлива.

Можно переписать формулу (6) как

$$\frac{dM}{dL} = 10^{-3} \cdot i_{\text{дв}} \frac{(g_e(n_{\text{дв}}(t), \alpha) \cdot M_e(n_{\text{дв}}(t), \alpha))}{9550 \cdot r_k}. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что минимизацию массы расходуемого топлива, которая требуется на выполнение трактором технологической операции разгрузки бункера и внесению удобрений может быть осуществлена следующими основными путями:

- минимизация функции удельного расхода топлива путем оптимального выбора многопараметровой характеристики дизеля с учетом характеристик ВОМ и момента сопротивления, действующего на двигатель со стороны трансмиссии;

- работа на повышенной передаче с низким передаточным отношением $i_{\text{дв}}$, при одновременном соответствии последнему области максимальных крутящих моментов с определением времени переключения передач трансмиссии, обеспечивающем минимальные значения массы M расходуемого топлива;

- оптимальное управление органом управления подачи топлива дизельного двигателя при разгрузке прицепа, приводимого в движение трактором с определением закона оптимального управления.

Замыкающим уравнением для (8) является уравнение для двигателя

$$\frac{dn_{\text{дв}}}{dt} = \left(\frac{30}{\pi j} \right) \cdot (M_e(n_{\text{дв}}(t), \alpha) - M_c(t)), \quad (9)$$

где $M_c(t)$ – момент сопротивления, действующий со стороны трансмиссии на вал двигателя;

j – момент инерции трансмиссии.

Момент $M_c(t)$ сопротивления, действующий со стороны трансмиссии

$$M_c(t) = M_c^K(t) + M_c^{BOM}(t), \quad (10)$$

где $M_c^K(t)$ – момент сопротивления качению МТА при движении его с прицепом переменной массы;

$M_c^{BOM}(t)$ – постоянный момент, действующий на приводе ВОМ.

Момент $M_c^K(t)$ сопротивления качению МТА определяется как

$$M_c^K(t) = \left(\frac{\mu G l - f(G_0 - g_t t)(l - \mu r_k)}{l - \mu r_k} \right) \cdot \frac{r_k}{i_{об} \eta}, \quad (11)$$

где μ – коэффициент сцепления движителя с дорогой;

G – вес кузова с прицепом;

l – продольная база трактора;

f – коэффициент трения;

G_0 – вес пустого кузова с прицепом;

g_t – скорость разгрузки кузова, т/сек;

η – общий КПД трансмиссии МТА.

Характерная зависимость момента $M_c^K(t)$ сопротивления качению МТА в зависимости от времени при различной скорости разгрузки g_t представлена на рисунке 2.

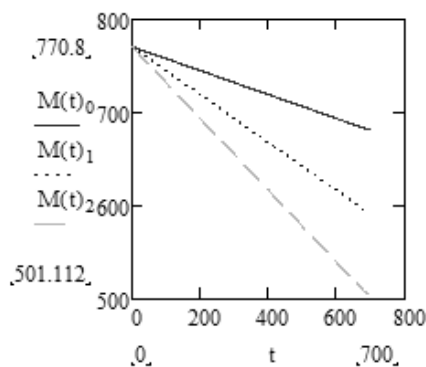


Рисунок 2 – Изменение момента сопротивления качению: $M(t)_0$ – момент сопротивления при скорости разгрузки 10 тонн/га; $M(t)_1$ – момент сопротивления при скорости разгрузки 20 тонн/га; $M(t)_2$ – момент сопротивления при скорости разгрузки 30 тонн/га

Момент сопротивления $M_c^{BOM}(t)$, действующий на двигатель со стороны привода ВОМ определится как

$$M_c^{BOM}(t) = \frac{N e_c^{BOM} 9550}{n_{BOM}}, \quad (12)$$

где $N e_c^{BOM}$ – мощность, необходимая на привод вала ВОМ, определяющаяся по табличным данным [3];

n_{BOM} – постоянная технологическая частота вращения ВОМ.

Характерная зависимость частоты вращения коленчатого вала двигателя $n_{об}$ при различных скоростях разгрузки кузова представлена на рисунке 3.

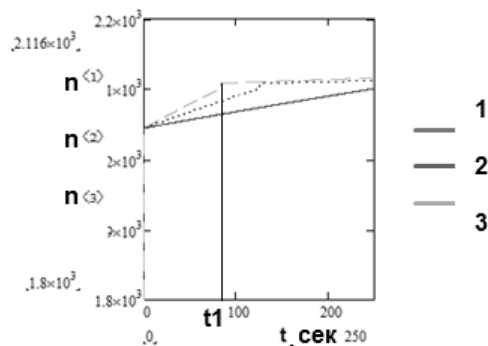


Рисунок 3 – Изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя при работе на режимах переменной нагрузки: 1 – при скорости разгрузки 10 тонн/га; 2 – при скорости разгрузки 20 тонн/га; 3 – при скорости разгрузки 30 тонн/га

Выводы. Таким образом, аналитическое определение расхода топлива машинотракторного агрегата при выполнении сельскохозяйственных работ по внесению удобрений может быть осуществлено решением системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dM}{dL} = 10^{-3} \cdot i_{\text{дог}} \frac{(g_e(p_e, n_{\text{дог}}(t)) \cdot M_e(p_e, n_{\text{дог}}(t)))}{9550 \cdot r_k} \\ \frac{dn_{\text{дог}}}{dt} = \left(\frac{30}{\pi j} \right) \cdot (M_e(n_{\text{дог}}(t), \alpha) - M_c(t)) \end{cases} \quad (13)$$

Определенный закон изменения частоты (рисунок 3) по дифференциальному уравнению (9) дает возможность определить требуемый характер изменения передаточного отношения трансмиссии и момента сопротивления, подбирая оптимальный закон управления педалью газа α в зависимости от времени при соответствующем передаточным отношением трансмиссии и текущим изменяемым режимом нагружения $M_c(t)$.

Бibliографический список использованной литературы

1. Вершина Г.А. Переходные процессы тракторного дизеля с наддувом, особенности его динамических и экономических качеств и обоснование оптимальных параметров элементов САРЧ: дис... канд. техн. наук:05.04.02 / Г.А. Вершина. – Минск, 1991. – 211 с.
2. Гуськов В.В. Тракторы. Часть II. Теория / В.В. Гуськов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1977. – 384 с.
3. Методика определения запаса ресурса транспортного дизеля с учетом нагрузочного и скоростного режимов эксплуатации / А.П. Кравченко, Е.С. Ноженко, Г.А. Вершина, А.Ю. Пилатов, Аль-Кинани Мухамед Фадхил // Вісник Севастопольського національного технічного університету. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: збірник наукових праць. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – Вип. 135/2012. – С. 192 – 196.

Поступила в редакцию 21.06.2013 г.

Кравченко О.П., Вершина Г.О., Пилатов О.Ю., Ноженко О.С. Загальна методика функції мінімізації питомої витрати пального машинотракторного агрегату з причепом змінної маси

У статті пропонується загальна методика мінімізації питомої ефективної витрати палива машинотракторного агрегату. Питома ефективна витрата розглядається як функція навантажувального і швидкісного факторів при русі машинотракторного агрегату з причепом змінної маси. Пропонуються основні шляхи мінімізації витрати палива при виконанні сільськогосподарських робіт при внесенні добрив. Встановлена аналітичний взаємозв'язок кількості палива, необхідного для здійснення технологічної операції розвантаження бункера з добривами при проходженні трактора шляху з урахуванням зменшення маси його причепа, від техніко-економічних показників двигуна, а також передатним числом трансмісії і радіусом коліс машинотракторного агрегату.

Ключові слова: машинотракторний агрегат, змінна маса причепа, витрата палива при розвантаженні причепа.

Kravchenko A., Viarshina H., Pilatau A., Nozhenko E. A general technique of fuel consumption function of machine and tractor units with a variable mass trailer

The paper proposes general method to minimize the relative fuel efficiency of vehicles and the unit. Specific effective consumption is considered as a function of load and speed factors in movement of vehicles and a trailer unit with variable mass. Suggests keyways to minimize fuel consumption for agricultural work in the fertilizer. An analytical relationship of the fuel required for the commission of technological operation Unloading of fertilizer during the passage of the tractor path with the down sizing of its trailer on the feasibility of the engine and transmission gear ratio sand the radius of the wheels of vehicles and machine.

Keywords: machine-unit, the variable weight of the trailer, fuel unloading trailer.