

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 630*377

*Г.М. АНИСИМОВ, А.М. КОЧНЕВ, Д.Ю. МАСЛОВ*С.-Петербургская лесотехническая академия
АО «Онежский тракторный завод»

Анисимов Георгий Михайлович родился в 1932 г., окончил в 1962 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных гусеничных и колесных машин С.-Петербургской лесотехнической академии, академик РАЕН, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет около 150 печатных работ в области исследования повышения технического уровня и эксплуатационной эффективности лесосечных машин.



Кочнев Александр Михайлович родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор кафедры лесных гусеничных и колесных машин С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 60 печатных работ по вопросам совершенствования теории взаимодействия трелевочной системы с волоком.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ГИДРООБЪЕМНОЙ ПЕРЕДАЧИ ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА

Предложена научно обоснованная методика оптимизации управления системой ДВС – ГОП трелевочного трактора на основе использования многопараметровых характеристик двигателя и самого трактора. Приведены результаты поиска алгоритма оптимального управления системой.

The scientifically based technique of optimizing control of the system «ICE – HVT» is suggested for skidder based on using multiparameter characteristics of engine and the skidder itself. The results of searching the algorithm of optimal control of the system are given.

Повышение эффективности работы моторно-трансмиссионной установки трелевочного трактора с гидрообъемной передачей (ГОП) в значительной степени связано с оптимизацией согласования характеристик двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и самой передачи. Как показал анализ работ, посвященных выбору параметров системы ДВС – ГОП, все они носят фрагментарный, узко направленный характер.

Цель наших исследований – разработать научно обоснованную методику оптимизации управления системой ДВС – ГОП трелевочного трактора.

Известно, что одним из основных показателей эксплуатационной эффективности трелевочных тракторов является повышение их топливной экономичности. Оценить ее на любом скоростном и нагрузочном режимах можно только по многопараметровым характеристикам. Однако они не получили широкого распространения, поскольку для их построения требуется очень большое число измерений расхода топлива при разных сочетаниях скоростных и нагрузочных режимов двигателя. Если при стендовых испытаниях дизелей и удастся провести цикл измерений, то в эксплуатационных условиях такая задача практически неразрешима.

Выходом из создавшейся ситуации является использование метода планирования экспериментов, позволяющего по ограниченному числу экспериментальных данных построить многопараметровые характеристики как двигателя, так и трактора. Для двигателя достаточно иметь результаты измерений часового расхода топлива G_T , крутящего момента двигателя M_c и частоты вращения его вала n ; для трактора – часового расхода топлива G_T , тягового усилия P_k и скорости движения v . В целом достаточно около 40...50 измерений на различных участках поля рассматриваемых характеристик. Метод планирования эксперимента предусматривает построение зависимости $G_T = f(n, M_c)$ и $G_T = f(P_k, v)$ в виде полинома второй степени

$$G_T = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 X^2 + a_4 XY + a_5 Y^2, \quad (1)$$

где X, Y – искомые переменные.

Эта зависимость действительна при изменении X и Y от 0 до максимальных значений, ограниченных полем скоростной характеристики двигателя и тяговой характеристики трактора:

$$0 < G_T(X, Y) \leq G_T(X_{\max}, Y_{\max}).$$

Значения коэффициентов a_i полинома (1) определяют по методу наименьших квадратов. Имея полиномы $G_T = f(n, M_c)$ или $G_T = f(P_k, v)$, можно вычислить координаты линий равного уровня удельного расхода топлива. Для этого на основании скоростной характеристики двигателя

* Ситников В.Р. Соотношение между рабочими объемами одно- и двухнасосных гидрообъемных трансмиссий гусеничных трелевочных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. - 1990. - № 5. - С. 15-16.

$M_e = f(n)$ или тяговой характеристики трактора $v = f(P_k)$ надо представить полином (1) в виде квадратичных уравнений:

$$G_T = \frac{g_e M_e n}{6a} = b_0 + b_1 n + b_2 M_e + b_3 n^2 + b_4 n M_e + b_5 M_e^2; \quad (2)$$

$$G_T = g_e P_k v = d_0 + d_1 P_k + d_2 v + d_3 P_k^2 + d_4 P_k v + d_5 v^2. \quad (3)$$

Решение уравнений (2) и (3) имеет вид

$$M_e = 0,5 b_5^{-1} \{ -(b_2 + b_4 n - 9550^{-1} g_e n) \pm [(b_2 + b_4 n - 9550^{-1} g_e n)^2 - 4 b_5 (b_0 + b_1 n + b_3 n^2)]^{1/2} \}; \quad (4)$$

$$v = 0,5 b_5^{-1} \{ -(d_2 + d_4 P_k - g_e P_k) \pm [(d_2 + d_4 P_k - g_e P_k)^2 - 4 d_5 (d_0 + d_1 P_k + d_3 P_k^2)]^{1/2} \}. \quad (5)$$

Здесь M_e – крутящий момент, Н·м;

n – частота вращения вала, мин⁻¹;

P_k – тяговое усилие, Н;

v – скорость движения, м/с;

G_T – часовой расход топлива, г/(кВт·ч);

g_e – удельный расход топлива, г/(кВт·ч).

Подставляя в (4) и (5) постоянные g_e и различные значения n , P_k (от минимального до максимального), получаем координаты линий равного уровня удельного расхода топлива на поле многопараметровых характеристик.

С помощью приведенной методики и по результатам наших экспериментальных исследований были определены: многопараметровая характеристика двигателя СМД-20 (рис. 1) и многопараметровая тяговая характеристика опытного образца трелевочного трактора АО ОТЗ ВПМ-100Г с ГОП (рис. 2).

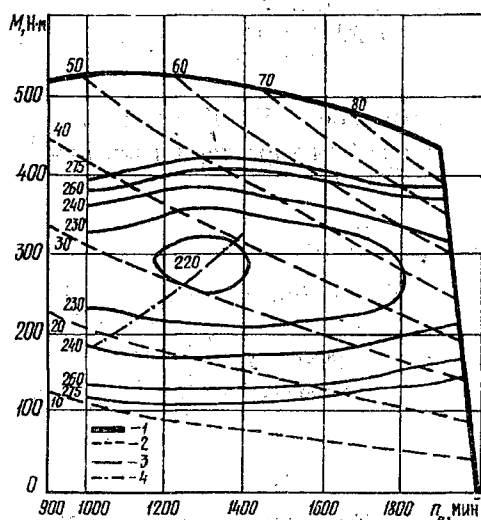
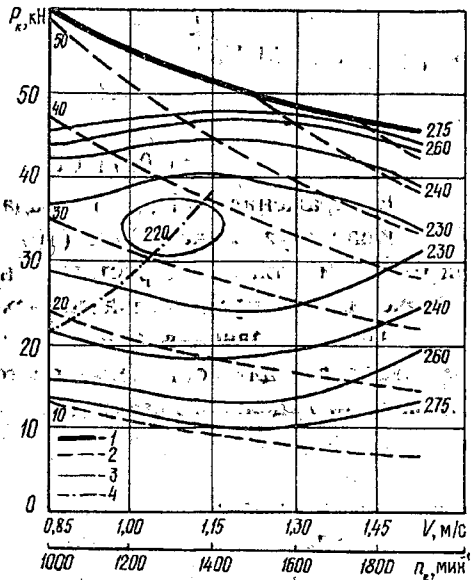


Рис. 1. Многопараметровая характеристика двигателя СМД-20 трактора ВПМ-100Г: 1 – регуляторная характеристика; 2 – линии равной эффективности мощности N ; цифрами 10...80 обозначены величины N , кВт; 3 – линии равного эффективного удельного расхода топлива g_e ; цифрами 220...275 обозначены величины g_e , г/(кВт·ч); 4 – линии минимального удельного расхода топлива

Рис. 2. Многопараметровая тяговая характеристика трактора ВПМ-100Г с гидрообъемной передачей: 1 — тяговая характеристика; 2 — линии равной мощности N ; цифрами 10...50 обозначены величины N , кВт; 3 — линии равного удельного расхода топлива g_e ; цифрами 220...275 обозначены величины g_e , г/(кВт·ч); 4 — линии минимального удельного расхода топлива



Расчеты показывают, что уравнение для определения часового расхода топлива дизеля СМД-20 имеет вид

$$G_T = 4057,23 + 2,349n - 48,638M_e + 0,00133nM_e + 0,001217n^2 + 0,17427M_e^2 \quad (6)$$

Ошибка часового расхода, рассчитанного по уравнению (6), составляет 2,8 % относительно регуляторных характеристик двигателя.

Для построения линий равного уровня удельного расхода топлива используют уравнение

$$M_e = 2,873 (-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 40,17427b_1}), \quad (7)$$

$$\text{где } a_1 = -48,638 + 0,00133n - \frac{g_e n}{9550};$$

$$b_1 = 4057,227 + 2,349n + 0,001217n^2.$$

Уравнение для определения часового расхода топлива трактора ВПМ 100-Г имеет вид

$$G_T = 6,1367 - 0,0195P_k + 8,197v - 0,0161P_k v + 0,00003 P_k^2 + 2,1872v^2 \quad (8)$$

Отсюда для построения линий равного уровня удельного расхода топлива используют уравнение

$$v = 0,228 (-a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - 8,748b_2}), \quad (9)$$

$$\text{где } a_2 = 8,917 - 0,0161P_k - g_e P_k;$$

$$b_2 = 6,1367 - 0,0195P_k + 0,00003 P_k^2.$$

Анализируя изображенные на рис. 1 и 2 линии постоянного удельного расхода топлива и постоянной мощности, можно отметить характерные точки их касания. Линия, проходящая через них, представляет собой линию минимального удельного расхода топлива. Для двигателя СМД-20 их можно описать квадратичным уравнением

$$M_e = -13,17 + 0,0716n + 0,000121n^2; \quad (10)$$

для трактора ВПМ-100Г

$$P_k = 57,364 - 112,515v + 83,537v^2 \quad (11)$$

или

$$v = 0,0671 + 0,0456P_k - 0,000454P_k^2. \quad (12)$$

В выражениях (11), (12) P_k задается в кН, а v – в м/с.

Используя зависимости (10) – (12), можно регулировать работу двигателя и тягово-скоростных показателей трактора из условия обеспечения минимума удельного расхода топлива.

Анализ уравнения линии минимального удельного расхода топлива показывает, что для достижения постоянной работы МТУ трактора в зоне минимального удельного расхода топлива его тягово-скоростные показатели можно регулировать в соответствии с полученным законом (11) или (12), т. е. по двум параметрам – P_k и v . Однако особенностью работы трелевочного трактора в отличие от тракторов другого назначения, например сельскохозяйственного или промышленного, является широкий спектр входного воздействия, что делает нецелесообразным регулирование по P_k .

Регулирование же ГОП по v возможно двумя путями: изменением частоты вращения вала двигателя и угла наклона шайбы гидронасоса. Процесс трелевки древесины по волоку осуществляется, как правило, при установке рычага подачи топлива в максимальное положение. Следовательно, наиболее целесообразно регулирование ГОП по углу наклона шайбы гидронасоса. Таким образом, трелевку древесины по волоку трактором с ГОП необходимо осуществлять на полной подаче топлива и заданном скоростном режиме движения, который целесообразно поддерживать, изменяя угол наклона шайбы гидронасоса $\beta_{ш}$ в зависимости от коэффициента сопротивления движению трактора f . Выражая в уравнении (12) скорость v через параметры гидропередачи, получаем

$$v = \frac{n_1 r_3}{i_{бр}} e \eta_0, \quad (13)$$

где n_1 – частота вращения вала гидронасоса (вала ДВС), c^{-1} ;

r_3 – радиус звездочки, м;

$i_{бр}$ – передаточное отношение бортового редуктора;

η_0 – объемный КПД гидропередачи;

e – параметр регулирования гидронасоса, $e = q_i / q_{\max}$ (q_i – текущий, q_{\max} – максимальный объем гидронасоса, $см^3$).

Приравняв правые части уравнений (12), (13) и выразив оттуда e , получим закон регулирования текущего объема гидронасоса в зависимости от изменения касательной силы тяги трактора (сопротивление движению) при условии обеспечения минимума удельного расхода топлива:

$$e = \frac{(0,0671 + 0,0456P_k - 0,000454P_k^2) i_{бр}}{n_1 r_3 \eta_0} \quad (14)$$