

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.431

Е.В. Красовских,
А.Г. Деев,
В.И. Четошников

ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ АГРЕГАТА ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: тяговый агрегат, характеристика двигателя, дискретная и вероятностная математическая модель, мощность, крутящий момент, скорость.

Эффективность работы почвообрабатывающего машинно-тракторного агрегата во многом определяется параметрами и режимами работы тракторного двигателя. Множество всех возможных режимов работы последнего принято представлять в виде многопараметровой характеристики, выполненной, например, в координатах частота вращения вала – крутящий момент. Координаты любой точки характеристики однозначно определяют основные показатели работы двигателя (крутящий момент, частота вращения вала, мощность, часовой и удельный расход топлива). По ним для каждой передачи можно определить показатели работы трактора (тяговое усилие, скорость движения, тяговую мощность, удельный тяговый расход топлива, коэффициент буксования) и агрегата (производительность, расход топлива, приведенные затраты средств на единицу обработанной площади). Задавшись критерием оптимизации и рассчитав значения целевой функции, по координатам экстремальных значений последней можно определить оптимальную или рациональную регуляторную характеристику дизельного двигателя [1].

Особенностью предлагаемой модели является системный подход, положенный в

основу исследований работы тягового агрегата, рассматриваемого как функционирование системы «почва-орудие-двигатель-трансмиссия-двигатель». В модели применяются методы математического моделирования с проведением расчетов на ЭВМ, анализируются режимы работы пахотного агрегата в зависимости от ширины захвата во всем диапазоне изменения приведенного удельного тягового сопротивления в условиях степной и лесостепной зоны Алтайского края. Вид характеристики двигателя заранее не задается, а определяется расчетным путем в зависимости от выбора критерия оптимизации. Для расчетов принята одномерная дискретная математическая модель, где в качестве входного воздействия принято приведенное к постоянной скорости движения удельное тяговое сопротивление агрегата, распределение его значений на отдельном поле и средних значений на множестве полей принято нормальным. Показатели работы МТА связаны с входным воздействием детерминированными функциями связи [2].

Каждому значению приведенного удельного тягового сопротивления агрегата при фиксированном значении частоты вращения вала двигателя на многопараметровой характеристике соответствует только одно значение крутящего момента – одна точка (и других показателей, в том числе и целевой функции). Для всего диапазона частот вращения множество таких точек образуют линию возможных режи-

мов работы двигателя – линию равного уровня приведенного тягового сопротивления агрегата. Оптимальная точка на этой линии определяется по экстремуму целевой функции, а их совокупность (линия) для всех значений приведенного удельного тягового сопротивления агрегата представляет собой оптимальную регуляторную характеристику двигателя в рассматриваемых условиях работы агрегата.

При оценке возможных режимов работы агрегата были введены следующие ограничения:

- максимально n_{emax} и минимально n_{emin} допустимые частоты вращения коленчатого вала, максимально допустимые значения мощности N_{emax} и крутящего момента M_{emax} , определяемые техническими условиями на двигатель;

- максимально \bar{V}_{amax} и минимально \bar{V}_{amin} допустимые скорости движения агрегата по агротехническим требованиям и соответствующие им границы математических ожиданий тяговых усилий трактора \bar{P}_{vamin} и \bar{P}_{vamax} при работе на отдельном поле;

- максимально допустимая сила тяги трактора $\bar{P}_{\text{крmax}}$, определяемая классом тяги трактора или допустимой величиной по буксованию движителя δ [3].

Основные детерминированные зависимости между эксплуатационными показателями работы двигателя, трактора и агрегата можно определить, решив систему уравнений:

$$K = K_{\text{пр}}[1 + \varepsilon_{\text{пр}}(V^2 - V_{\text{пр}}^2)]; \quad (1)$$

$$P_{\text{кр}} = KB_{\text{р}}; \quad (2)$$

$$V = \pi n_{\text{е}} r_{\text{к}} (1 - \delta) / (30 i_{\text{тр}}); \quad (3)$$

$$\delta = B^{-1} \ln[A / (\varphi_{\text{м}} - P_{\text{кр}} / (\lambda_{\text{к}} G))]; \quad (4)$$

$$M_{\text{с}} = 10^3 (P_{\text{кд}} + P_{\text{ф}}) r_{\text{к}} / (i_{\text{тд}} \eta_{\text{тд}} \eta_{\text{в.в.}}), \quad (5)$$

где K – удельное тяговое сопротивление агрегата, кН/м;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий зависимость тягового сопротивления агрегата от скорости движения, $\text{с}^2/\text{м}^2$;

V , $V_{\text{пр}}$ – соответственно, действительная скорость движения и скорость приведения, м/с;

$P_{\text{кд}}$ – тяговое сопротивление агрегата (нагрузка на крюке трактора), кН;

$K_{\text{пр}}$ – приведенное удельное тяговое сопротивление агрегата при постоянной скорости движения $V_{\text{пр}} = \text{const}$, кН/м;

$B_{\text{р}}$ – рабочая ширина захвата агрегата, м;

$n_{\text{с}}$ – частота вращения вала двигателя, мин.^{-1} ;

$r_{\text{к}}$ – радиус ведущего колеса, м;

δ – коэффициент буксования движителей трактора;

$i_{\text{тд}}$ – передаточное число трансмиссии трактора;

A , B , $\varphi_{\text{м}}$ – коэффициенты функции, аппроксимирующей кривую буксования движителей трактора;

$\lambda_{\text{к}}$ – коэффициент нагрузки ведущих колес трактора;

G – эксплуатационный вес трактора, кН;

$M_{\text{е}}$ – крутящий момент двигателя, Нм;

$P_{\text{ф}}$ – сила сопротивления перекачиванию трактора, кН;

$\eta_{\text{тд}}$ – КПД трансмиссии трактора;

$\eta_{\text{в.в.}}$ – КПД ведущего участка гусеничного движителя.

Система уравнений (1)-(5) не имеет решения в явном виде и для ее решения использованы итерационные методы.

Остальные детерминированные зависимости между показателями работы агрегата определяются по формулам:

$$N_{\text{е}} = M_{\text{е}} n_{\text{е}} / 9550; \quad (6)$$

$$g_{\text{е}} = 10^3 G_{\text{т}} / N_{\text{е}}; \quad (7)$$

$$N_{\text{кр}} = P_{\text{кр}} V; \quad (8)$$

$$W_{\text{ч}} = 0,36 B_{\text{р}} V; \quad (9)$$

$$W_{\text{смч}} = W_{\text{ч}} \tau_{\text{р}}; \quad (10)$$

$$g_{\text{в}} = G_{\text{т}} / W_{\text{смч}}; \quad (11)$$

где $N_{\text{е}}$ – эффективная мощность двигателя, кВт;

$g_{\text{е}}$ – удельный эффективный расход топлива, г/кВт · ч;

$G_{\text{т}}$ – часовой расход топлива, кг/ч;

$N_{\text{кр}}$ – мощность на крюке трактора, кВт;

$W_{\text{ч}}$ – чистая производительность агрегата, га/ч;

$W_{\text{смч}}$ – производительность агрегата за один час рабочего времени, га/ч;

$\tau_{\text{р}}$ – коэффициент использования сменного времени;

$g_{\text{в}}$ – погектарный расход топлива, кг/га.

В качестве критериев оптимизации характеристики двигателя, параметров и режимов работы агрегата были приняты производительность и погектарный расход топлива агрегата, приведенные затраты средств. Исследования этих функций на наличие экстремума в зоне ограничений, принятых ранее, показывают, что экстремумы функций лежат вне нагрузочных и скоростных режимов работы МТА. Чем больше мощность двигателя, тем выше производительность и ниже приведенные затраты средств; чем ниже скорость движения агрегата, а следовательно, и про-

изводительность, тем ниже погектарный расход топлива.

Вероятностная параметрическая модель использовалась для оценки средних выходных показателей работы МТА на отдельном поле и группе полей. Анализ результатов динамометрирования машинно-тракторных агрегатов в Алтайском крае показывает, что к основным факторам, влияющим на выходные показатели работы агрегата при неустановившейся нагрузке, относятся следующие вероятностные оценки: математическое ожидание (среднее значение) приведенного удельного тягового сопротивления агрегата \bar{K}_{np} , коэффициент вариации v_n и зависимость тягового сопротивления от скорости движения и коэффициента пропорциональности $\bar{\varepsilon}_{np}$ при работе на отдельном поле; математическое ожидание приведенного удельного тягового сопротивления агрегата на группе полей $M(\bar{K}_{np})$; коэффициент вариации математических ожиданий приведенного удельного тягового сопротивления агрегата \bar{K}_{np} на группе полей $v_{гр}$; математическое ожидание приведенных коэффициентов пропорциональности $\bar{\varepsilon}_{np}$ на группе полей $M(\bar{\varepsilon}_{np})$; математическое ожидание коэффициентов вариации v_n приведенного удельного тягового сопротивления на отдельных полях $M(v_n)$.

В модели приняты следующие допущения:

- на выходные показатели работы агрегата влияют колебания нагрузки с периодом более 2 с;

- функции, связывающие эксплуатационные показатели агрегата с входными переменными, при постоянной нагрузке носят детерминированный характер, таковыми они приняты и для низкочастотных составляющих колебаний нагрузки.

Модель позволяет по известному закону распределения K_{np} и детерминированным функциям связи определить выходные показатели работы агрегата как на отдельном поле, так и группе полей с системой автоматического переключения передач на ходу и без переключения с использованием следующих формул:

$$\bar{Y} = \int_{-\infty}^{+\infty} y\varphi(y)dy = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\varphi(x)dx; \quad (12)$$

$$M = (\bar{Y}) = \int_{-\infty}^{+\infty} y\varphi(y)d$$

$$\bar{y} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\bar{x})\varphi(\bar{x})d(\bar{x}), \quad (13)$$

где \bar{Y} , $M(\bar{Y})$ – соответственно, математическое ожидание показателей работы МТА в поле и по группе полей;

$\varphi(y) = \varphi(x)|dx/dy|$ – плотность распределения показателей в поле;

$\varphi(\bar{y}) = \varphi(x)|d\bar{x}/d\bar{y}|$ – плотность распределения показателей по группе полей.

В модели использованы детерминированные функции связи, полученные при решении дискретной модели. Регуляторная ветвь характеристики двигателя представлена в виде прямой линии:

$$Y = A + BK_{np}, \quad (14)$$

а корректорный участок в виде параболы

$$Y = A + BK_{np} + CK_{np}^2. \quad (15)$$

При нормальном распределении аргумента K_{np} , кусочно-линейной и кусочно-параболической функциях связи вида (16) и (17) формулы (14) и (15) примут следующий вид (с учетом усеченности распределения K_{np}):

$$M(\bar{Y}) = \left\{ \Theta / [\Phi(t_{max}) - \Phi(t_{min})] \right\} \left(\sum_{i=1}^2 \{ a_i \Phi(t) - b_i \varphi(t) + c_i [\Phi(t) - t\varphi(t)] \} \right) \Big|_{t_{i-1}}^{t_i}; \quad (16)$$

$$t = (K - \bar{K}_{np}) / \sigma_{Knp}, \quad (17)$$

где $a_i = A_i + B_i m_{Knp} + C_i m_{Knp}^2$;

$$b_i = (B_i 2C_i m_{Knp}) \sigma_{Knp};$$

$$c_i = C_i \sigma_{Knp}^2;$$

A_i, B_i, C_i – коэффициенты уравнения, определяемые в процессе аппроксимации регуляторной характеристики двигателя или тяговой характеристики трактора;

i – номер интервала кусочно-непрерывной функции;

$i = 1$ – прямолинейный участок;

$i = 2$ – парабола;

Θ – коэффициент, учитывающий размерность величин;

m_{Knp}, σ_{Knp} – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение (стандарт) аргумента;

$\varphi(t)$ – нормированная и центрированная плотность распределения вероятностей аргумента;

$\Phi(t)$ – функция Лапласа;

t – аргумент функции Лапласа.

Выводы

1. К основным причинам, вызывающим снижение выходных показателей работы агрегата при вероятностной (случайной) нагрузке в сравнении с постоянной, относятся нелинейность регуляторной характе-

ристики двигателя, ступенчатое изменение передаточного числа трансмиссии трактора и непостоянство тягового сопротивления.

На выходные показатели работы двигателя, трактора и агрегата на отдельном поле и группе полей существенное влияние оказывают значения вероятностных оценок тягового сопротивления агрегата.

2. Дискретная и вероятностная математические модели функционирования агрегата как системы «почва-орудие-двигатель-трансмиссия-двигатель», алгоритмы и программы расчетов на ЭВМ позволяют определять выходные показатели МТА, рациональный состав агрегата, вид характеристики двигателя, параметры и режимы работы моторно-трансмиссионной установки по принятому критерию оптимизации (производительности, погектарному расходу топлива, приведенным затратам средств) с автоматическим переключением передач на ходу и без переключения.

Библиографический список

1. Деев А.Г. Динамическая характеристика дизельного двигателя мобильного агрегата / А.Г. Деев, Р.Х. Каримов, А.П. Кузнецов, В.Н. Попов // Сб. тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1970. – Вып. 68. – Ч. 1. – С. 25-30.

2. Соколов В.В. Вероятностно-статистическая модель функционирования тяговых машинно-тракторных агрегатов / В.В. Соколов, Е.В. Красовских // Механизация технологических процессов в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности: сб. науч. тр. АГАУ. – Барнаул, 1997. – С. 144-147.

3. Красовских Е.В. Обоснование рациональной характеристики двигателя Д-4601 трактора Т-250 / Е.В. Красовских // Совершенствование технологий и технических средств АПК: матер. юбилейной науч.-практ. конф. – Барнаул, 1999. – Ч. 2. – С. 32-36.



УДК 621.3.036.61

Ц.И. Калинин,
В.Г. Горшенин

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫМИ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯМИ

Ключевые слова: электротехнология, электродные водонагреватели, регулятор, широтно-импульсная модуляция, тиристор.

В сельском хозяйстве широко используются электродные водонагреватели, т.е. устройства, в которых нагрев жидкости происходит путем пропускания тока через саму жидкость.

Основная проблема использования электродных водонагревателей заключается в том, что режим протекания тока не стационарный. Поэтому для управления такими приборами наиболее перспективны схемы с тиристорными преобразователями широтно-импульсного регулирования.

Основным параметром, подлежащим регулированию, является температура нагреваемого тела. Однако в зависимости от конкретной технологической ситуации

это требование усложняется. Как правило, приходится на практике иметь дело с непрерывным, или дискретным, полем температур, переменным во времени.

Вторым по важности параметром регулирования является мощность, выделяемая в нагреваемом объекте. От ее значения зависит скорость процесса и, следовательно, длительность технологического цикла. Следует отметить, что мощность, передаваемая в объект нагрева, практически не поддается измерению. Поэтому приходится ограничиваться управлением тока, который, как будет показано ниже, пропорционален мощности.

Для достижения оптимального процесса регулирования подбирают такой регулятор, который при известной характеристике объекта позволил бы в заданных пределах изменения нагрузки последнего обеспечить требуемую точность регули-