

## ОПТИМИЗАЦИЯ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЯГОВО-ПРИВОДНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ ВЕРОЯТНОСТНОЙ НАГРУЗКЕ

Сидоров В.Н., Кодинцев Н.П.

*ГОУ ВПО Калужский филиал федерального Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», (248600, Калуга, ул. Баженова, 2), e-mail: pgp@bmstu-kaluga.ru*

**Проведен расчет зависимости основных технико-экономических показателей тягово-приводного машинно-тракторного агрегата (МТА) от нагрузки на валу двигателя: Для оценки эффективности функционирования тягово-приводного МТА при выполнении технологических операций использована вероятностная математическая модель типа «вход-выход». В качестве «входа» модели используется вероятностная нагрузка на коленчатом валу двигателя. Моменты сопротивления на ведущих полуосях и на привод активных рабочих органов сельскохозяйственной машины рассматриваются как случайные величины. Сделан вывод, что при установлении оптимальных нагрузочных режимов МТА в качестве критериев оптимальности можно принять экстремумы математических ожиданий: удельного расхода топлива; прямых эксплуатационных затрат на 1 га и обобщенных коэффициентов.**

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат (МТА), производительность, удельный расход рабочего времени, расход топлива на 1 га, прямые эксплуатационные затраты на единицу выработки

## OPTIMIZATION OF LOADING MODES OF TRACTION-DRIVING MACHINE-TRACTOR AGGREGATE UNDER STATISTICAL LOAD

Sidorov V.N., Kodincev N.P.

*Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University (248600, Kaluga, street Bazhenova,2), e-mail: pgp@bmstu-kaluga.ru*

**The calculation of dependence of the basic technical and economic indicators of the traction-driving machine-tractor aggregate (MTA) on the motor shaft load was made: To estimate effectiveness of the traction-driving MTA while operating, a statistical mathematical model "input-output" was applied. As "input" of the model a statistical load on the engine crankshaft is used. Resistance moments: on leading half-axes and on the drive of active parts of the agricultural machine are considered as random variables. It is concluded that optimal loading modes of MTA being applied, extreme points of mathematical expectations can be used as criterion of optimality: the specific fuel consumption; direct operating costs per 1 ha and generalized coefficients.**

Keywords: machine-tractor aggregate (MTA), performance, specific operational time rate, fuel consumption per 1 ha, direct operating costs per unit produced

Тягово-приводной машинно-тракторный агрегат позволяет повысить степень загрузки двигателя. Определение эффективности функционирования тягово-приводного МТА при выполнении технологических операций построением вероятностной математической модели позволяет установить оптимальные нагрузочные режимы работы МТА.

Для оценки эффективности функционирования тягово-приводного МТА на основе энергонасыщенного трактора при выполнении технологических операций применена вероятностная математическая модель типа «вход-выход», основанная на методе функций случайных аргументов. При установлении оптимальных нагрузочных режимов МТА в качестве критериев оптимальности применены экстремумы математических

ожиданий: удельного расхода топлива; прямых эксплуатационных затрат на 1 га и обобщенный коэффициент для комплексной оценки реализации потенциальных возможностей агрегата.

В настоящее время формирование тягово-приводных машинно-тракторных агрегатов (МТА) осуществляется на базе энергонасыщенных тракторов [1]. Для оценки эффективности функционирования тягово-приводного МТА при выполнении технологических операций воспользуемся вероятностной математической моделью типа «вход-выход» (рис.1), основанной на методе функций случайных аргументов [2, 3].

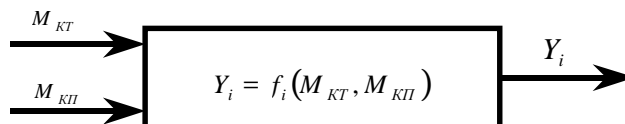


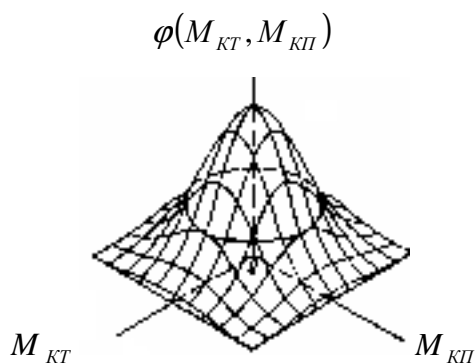
Рис. 1 Модель функционирования

«Входом» модели является вероятностная нагрузка на коленчатом валу двигателя  $M_K$ , создаваемая за счет моментов сопротивления на ведущих полуосях  $M_{KT}$  и на привод активных рабочих органов сельскохозяйственной машины через ВОМ  $M_{KП}$  трактора. Моменты  $M_{KT}$ ,  $M_{KП}$ ,  $M_K$  рассматриваются как случайные величины. Плотность распределения вероятностей случайных величин  $M_{KT}$  и  $M_{KП}$  (рис. 2) описывается выражением:

$$\varphi(M_{KT}, M_{KП}) = (2\pi\sigma_{M_{KT}}\sigma_{M_{KП}}\sqrt{1-r^2})^{-1} \times \exp \left\{ - \left[ \frac{(M_{KT} - \bar{M}_{KT})^2 \sigma_{M_{KП}}^{-2} - 2r(M_{KT} - \bar{M}_{KT})(M_{KП} - \bar{M}_{KП}) \sigma_{M_{KT}}^{-1} \sigma_{M_{KП}}^{-1} + (M_{KП} - \bar{M}_{KП})^2 \sigma_{M_{KT}}^{-2}}{2(1-r^2)} \right] \right\} \quad (1)$$

где  $\bar{M}_{KT}$ ,  $\bar{M}_{KП}$  – соответственно средние значения моментов сопротивления  $M_{KT}$  и  $M_{KП}$ ;

$\sigma_{M_{KT}}$  и  $\sigma_{M_{KП}}$  – стандарты моментов  $M_{KT}$  и  $M_{KП}$ ;



$r$  – коэффициент корреляции.

Рис. 2. Закон распределения нагрузки тягово-приводного агрегата

При анализе и оценке эксплуатационных свойств машинно-тракторных агрегатов в процессе выполнения технологических операций и процессов в модели (рис. 1) используются фактические и базовые (или номинальные) значения энергетических (частота вращения, часовой расход топлива, эффективная мощность, удельный расход топлива) и технико-экономических (производительность, удельный расход рабочего времени, расход топлива на 1 га, прямые эксплуатационные затраты на единицу выработки) показателей, которые являются «выходом» модели.

Выходные показатели  $Y_i$  связаны с входными воздействиями  $M_{КТ}$  и  $M_{КП}$  функциями связи  $Y_i = f_i(M_{КТ}, M_{КП})$ , устанавливаемыми в процессе аппроксимации регуляторной характеристики двигателя [4].

Выразим зависимости основных технико-экономических показателей тягово-приводного агрегата от нагрузки на валу двигателя:

часовая производительность (по площади)

$$W_u = f_1(M_{КТ}, M_{КП}) = \begin{cases} C_1 \left[ \begin{array}{l} A_1^*(M_{КТ} + M_{КП}) + \\ + B_1^*(M_{КТ} + M_{КП})^2 \end{array} \right] & \text{при } M_{КТ} + M_{КП} \leq M_H \\ C_1 \left[ \begin{array}{l} A_2^*(M_{КТ} + M_{КП}) + \\ + B_2^*(M_{КТ} + M_{КП})^2 \end{array} \right] & \text{при } M_{КТ} + M_{КП} > M_H \end{cases} \quad (2)$$

удельные затраты рабочего времени на единицу выработки (на 1 га)

$$h_T = m/W_u = f_2(M_{КТ}, M_{КП}) = \begin{cases} C_2 \left[ \begin{array}{l} A_1^*(M_{КТ} + M_{КП}) + \\ + B_1^*(M_{КТ} + M_{КП})^2 \end{array} \right]^{-1} & \text{при } M_{КТ} + M_{КП} \leq M_H \\ C_2 \left[ \begin{array}{l} A_2^*(M_{КТ} + M_{КП}) + \\ + B_2^*(M_{КТ} + M_{КП})^2 \end{array} \right]^{-1} & \text{при } M_{КТ} + M_{КП} > M_H \end{cases} \quad (3)$$

удельный расход топлива на рабочем режиме

$$g_{за} = G_T/W_u = f_3(M_{КТ}, M_{КП}) = \begin{cases} C_3 \left[ \frac{A_1 + B_1(M_{КТ} + M_{КП})}{A_1^*(M_{КТ} + M_{КП}) + B_1^*(M_{КТ} + M_{КП})^2} \right] & \text{при } M_{КТ} + M_{КП} \leq M_H \\ C_3 \left[ \frac{A_2 + B_2(M_{КТ} + M_{КП})}{A_2^*(M_{КТ} + M_{КП}) + B_2^*(M_{КТ} + M_{КП})^2} \right] & \text{при } M_{КТ} + M_{КП} > M_H \end{cases} \quad (4)$$

прямые эксплуатационные затраты на единицу выработки (на 1 га)

$$C_{за} = C_u/W_u = f_4(M_{КТ}, M_{КП}) =$$

$$= \begin{cases} C_3 \left[ \frac{A_3 + B_3(M_{KT} + M_{KП})}{A_1^*(M_{KT} + M_{KП}) + B_1^*(M_{KT} + M_{KП})^2} \right] & \text{при } M_{KT} + M_{KП} \leq M_H \\ C_3 \left[ \frac{A_4 + B_4(M_{KT} + M_{KП})}{A_2^*(M_{KT} + M_{KП}) + B_2^*(M_{KT} + M_{KП})^2} \right] & \text{при } M_{KT} + M_{KП} > M_H \end{cases} \quad (5)$$

где  $C_1 = CC_W$ ;  $C = 9554^{-1}$ ;  $C_W = 0,36\eta_{TP}\tau_{cm}k_\alpha$ ;  $C_2 = mC_1^{-1}$ ;  $C_3 = C_1^{-1}$  – коэффициенты пропорциональности;

$\eta_{TP}$  – КПД трактора на рабочем режиме;

$\tau_{cm}$  – коэффициент использования времени смены;

$k_\alpha$  – удельное сопротивление агрегата, кН/м;

$C_q = A_o + B_o G_T$  – удельные затраты денежных средств, руб./га;

$A_o = C_A + C_{P.TO} + C_{3.П}$  – затраты соответственно на реновацию, на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт, на оплату труда обслуживающего персонала, руб./ч;

$B_o$  – комплексная цена 1 кг топлива, руб./кг;

$m$  – количество обслуживающего персонала, чел.,

$A_1^*, A_2^*, A_1, A_2, B_1^*, B_2^*, B_1, B_2$  – постоянные величины и угловые коэффициенты, определяемые при аппроксимации стендовой характеристики двигателя;  $M_H$  – номинальный крутящий момент на валу двигателя, Н·м.

Аппроксимирующие коэффициенты, используемые в формуле (5), получаются при подстановке в формулу для вычисления удельных затрат денежных средств  $C_q$  расчетных выражений для вычисления часового расхода топлива

$$G_T = f_5(M_{KT}, M_{KП}) = \begin{cases} A_1 + B_1(M_{KT} + M_{KП}) & \text{при } M_{KT} + M_{KП} \leq M \\ A_2 + B_2(M_{KT} + M_{KП}) & \text{при } M_{KT} + M_{KП} > M \end{cases} \quad (6)$$

по формуле

$$A_3 = A_o + B_o A_2; \quad A_4 = A_o + B_o A_2; \quad B_3 = B_o B_1; \quad B_4 = B_o B_2 \quad (7)$$

Функции  $F(Y_i)$ , плотности  $\varphi(Y_i)$  выходных показателей  $Y_i$  на различных нагрузочных режимах машинно-тракторного агрегата определяются по вероятностным вычислительным моделям с непрерывным случайным аргументом; математические ожидания  $M(Y_i)$ , дисперсии  $D(Y_i)$ , стандарты  $\sigma_{Y_i}$  и коэффициенты вариации  $V_{Y_i}$  определяются по модели с дискретным аргументом. По модели с дискретным аргументом определяются также математические ожидания выходных показателей.

Эффективность функционирования МТА на различных режимах работы оценивается частными  $\lambda_{Y_i}$  и обобщенными  $\lambda_{oj}$  вероятностными коэффициентами.

Частный коэффициент определяется как отношение математического ожидания  $M(Y_i)$  показателя  $Y_i$  к его номинальному значению  $Y_{ni}$ :

$$\lambda_{Y_i} = M(Y_i)/Y_{ni} . \quad (8)$$

Обобщенные коэффициенты  $\lambda_{oj}$  используются для комплексной оценки реализации потенциальных возможностей агрегатов по нескольким показателям и определяются через частные коэффициенты по формуле:

$$\lambda_{oj} = \left( \prod_{i=1}^n \lambda_{Y_i} \right)^{1/n} \quad (9)$$

где  $n$  – число частных коэффициентов.

С целью упрощения расчетов вычисления проводились при фиксированных значениях величин  $k_\alpha$ ,  $\tau_{cm}$ ,  $\eta_{TP}$ .

При установлении оптимальных нагрузочных режимов МТА в качестве критериев оптимальности можно принять экстремумы математических ожиданий: удельного расхода топлива  $[M(g_{ca})]_{\min}$ ; прямых эксплуатационных затрат на 1 га  $[M(C_{ca})]_{\min}$  и обобщенных коэффициентов  $[\lambda_{oj}]_{\max}$ .

### Список литературы

1. Анализ факторов, влияющих на энергозатраты машинно-тракторного агрегата // Достижения науки и передовой опыт в производство и учебно-воспитательный процесс: Материалы X межвузовской научно-практической конференции. — Брянск: Издат. БГСХИ, 1990. – С. 230–231.
2. Венцель А.Д. Курс теории случайных процессов. – М.: Наука, 1975, 320 с.
3. Кутьков Г.М. Трактор второго поколения: монография. — М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013. – 104 с.
4. Сидоров В.Н., Сидоров М.В., Воронин В.А. Повышение эффективности использования энергонасыщенных трактора в составе сельскохозяйственного МТА // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 7-9 декабря 2004 г., Т. 1. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – С. 230–231.
5. Сидоров В.Н., Сидоров М.В., Воронин В.А. Проблемы повышения эффективности использования трактора в составе сельскохозяйственного МТА // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 2–4 декабря 2003 г., Т. 1. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.

**Рецензенты:**

Булычёв В.В., д.т.н., доцент, декан конструкторско-механического факультета, профессор кафедры «Технология сварки» Калужского филиала ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Калуга;

Корнюшин Ю.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления» Калужского филиала ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Калуга.