

$$F = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot S}{2}, \text{ кг м/с}^2,$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, равная 1,29 кг/м<sup>3</sup>;  
 $V^2$  – средняя скорость ветра, м/с;  
 $S$  – площадь средства, воспринимающего поток ветра, м<sup>2</sup>.

Следовательно,

$$m \cdot g \cdot H < F \cdot L \cdot S$$

или

$$m \cdot g \cdot H < \frac{\rho \cdot V^2 \cdot L \cdot S}{2}$$

Отсюда

$$S > \frac{2m \cdot g \cdot H}{\rho \cdot V^2 \cdot L}$$

Учитывая, что центр приложения силы ветра будет находиться не в точке противодействующей силы, расчет механизма производится по правилу рычага II рода. В нашем случае усилие приложения ветра, а значит и величина рассчитываемой площади, уменьшится в 4 раза.

Следовательно,

$$S = \frac{S_{\text{расч.}}}{4}, \text{ м}^2.$$



Зная необходимую площадь паруса, мы задаемся приемлемым значением одной из его сторон и получаем значение другой стороны:

$$a = \frac{S}{b}$$

Учитывая, что при колебательном движении паруса энергия ветра расходуется не только на привод нагрузки – насоса, но и на разгон и торможение самого паруса, то выгодный режим этого ветродвигателя относительно тихоходный, а следовательно, и безопасный в эксплуатации. При этом максимальный коэффициент полезного действия качающийся ветродвигатель достигает в том случае, когда будет скомпенсирована его реактивная мощность, т.е. когда он представляет собой колебательную систему, работающую на резонансной частоте.

Расчетная производительность предлагаемой установки составляет 0,4 м<sup>3</sup>/ч. Ориентировочная стоимость установки – 10000 руб. Одной такой установки достаточно для водоснабжения фермы крупного рогатого скота на 100 голов.

УДК631.3

В.С. Красовских,  
 Т.В. Добродомова

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЯГОВО-ПРИВОДНОГО МТА

По характеру использования энергии машинно-тракторные агрегаты (МТА) применяются как тяговые, так и тягово-приводные (когда тяговое усилие трактора используется только для перемещения рабочей машины, ее рабочие органы получают энергию через ВОМ) [2].

Тягово-приводной МТА рассматривается как некоторая динамическая система. Работа МТА (рис. 1) – реакция системы Y на внешние воздействия X, искаженные возмущениями [3].



**Рис. 1. Модель функционирования тягово-приводного МТА:**  
**X – внешние воздействия;**  
**Y – реакция системы**

Особенностью функционирования тягово-приводного МТА является вероятностно-статистический характер внешних воздействий X, обусловленный многочисленными переменными факторами [1].

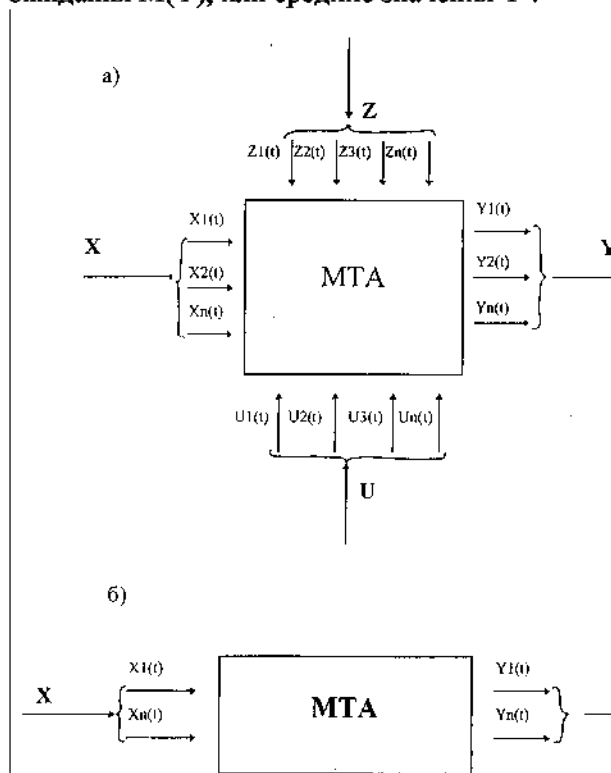
Поэтому для определения выходных показателей примем математическую модель «почва-почвообрабатывающий посевной комплекс-двигатель-трансмиссия-двигатель» («П-ППК-Дж-Т-Дв»), в основе которой будет заложена вероятностная математическая модель, разработанная на кафедре «Тракторы и автомобили» Алтайского государственного аграрного университета под руководством проф., д.т.н. В.С. Красовских (рис. 2).

Входные внешние воздействия представляют собой случайные процессы. Они оказывают влияние на основные выходные переменные Y величины, определяющие функционирование

МТА в эксплуатационных условиях. Из-за случайного характера внешних  $X$ , управляющих  $U$  и возмущающих  $Z$  воздействий выходные  $Y$  показатели работы МТА могут рассматриваться в виде случайных функций по времени или пройденному пути [4].

Будем использовать метод функций случайных аргументов. Его сущность состоит в том, что МТА рассматривается в виде модели «вход-выход» (рис. 2). Входные  $X$  и выходные  $Y$  переменные величины определяются детерминированной (неслучайной) функциональной зависимостью  $Y = f(X)$ .

Чтобы учесть случайные факторы при обосновании оптимальных режимов работы МТА в процессе выполнения технологических операций, необходимо установить вероятностно-статистические оценки энергетических и технико-экономических показателей – математические ожидания  $M(Y)$ , или средние значения  $\bar{Y}$ .



**Рис. 2. Схема к определению выходных  $Y$  показателей тягово-приводного агрегата по принципу «вход-выход»:**  
**а) общая с учетом внешних  $X$ , управляющих  $U$  и возмущающих  $Z$  воздействий и функциональных параметров  $Y = f(X, U, Z)$ ;**  
**б) по принципу «вход-выход»  $Y = f(X)$**

Из анализа результатов более тысячи экспериментальных исследований следует, что нет полей с одинаковыми условиями функционирования МТА. Поэтому при оценке выходных параметров и режимов работы агрегата на со-

вокупности полей Алтайского края надо использовать усредненные эксплуатационные характеристики.

В соответствии с принятой схемой работы тягово-приводного агрегата управляющими показателями при расчете эксплуатационной тяговой характеристикой МТА по группе полей являются: номинальная мощность  $N_n$ , вес семян и удобрений  $G_{mn}$ ; входной показатель – математическое ожидание тягового сопротивления агрегата для группы полей  $M(\bar{P})$ .

Основная особенность эксплуатационных характеристик заключается в том, что они представляют собой зависимость математических ожиданий выходных показателей работы двигателя и шасси от математического ожидания тягового сопротивления, веса семян и удобрений, номинальной мощности двигателя:

$$M(\bar{Y}) = f[M(\bar{P}), N_n, G_{mn}]. \quad (1)$$

Дополнительными величинами для расчета эксплуатационной тяговой характеристики агрегата для группы полей являются: средняя относительная величина передаточных чисел трансмиссии основного ряда передач трактора  $\varphi_{cp}$  (структуры ряда передач трактора), математическое ожидание среднего значения коэффициента пропорциональности, учитывающего влияние рабочей скорости движения агрегата на тяговое сопротивление  $M(\bar{\varepsilon}_{np})$ , коэффициент вариации математического ожидания приведенного удельного тягового сопротивления агрегата по группе полей  $v_{гп}$ .

Выходными показателями работы тягово-приводного МТА по совокупности полей являются математические ожидания выходных переменных для группы полей [4]:

$$M(\bar{N}_{кр}) = N_e M(\bar{\eta}_m); \quad (2)$$

$$M(\bar{V}_p) = M(\bar{N}_{кр}) / M(\bar{P}); \quad (3)$$

$$B_p = \frac{M(\bar{P})}{M(\bar{K}_{np}) [1 + M(\bar{\varepsilon}_{np}) [M(\bar{V}_p)^2 - V_{np}^2]]}; \quad (4)$$

$$M(\bar{W}_q) = 0,36 B_p M(\bar{V}_p); \quad (5)$$

$$M(\bar{W}_{см}) = M(\bar{W}_{vac}) \cdot T_{см}; \quad (6)$$

$$M(\bar{W}_{vac}) = M(\bar{W}_q) \cdot \tau_{см}; \quad (7)$$

$$M(\bar{g}_w) = M(\bar{G}_{T_{см}}) / M(\bar{W}_{см}), \quad (8)$$

где  $M(\bar{N}_{кр})$  – матожидание мощности на крюке шасси (трактора), кВт;

$N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт;

$M(\bar{\eta}_m)$  – матожидание тягового КПД шасси;

$M(\bar{V}_p)$  – матожидание рабочей скорости агрегата, м/с;

$B_p$  – рабочая ширина захвата агрегата, м;

$M(K_{np})$  – матожидание приведенного удельного тягового сопротивления агрегата, соответствующее постоянной скорости движения ( $V_{np} = \text{const}$ ), кН/м;

$M(\varepsilon_{np})$  – матожидание коэффициента, учитывающего зависимость тягового сопротивления агрегата от скорости движения,  $\text{с}^2/\text{м}^2$ ;

$V_{np}$  – приведенная скорость движения, м/с;

$M(\bar{W}_c)$ ,  $M(\bar{W}_{cm})$  – матожидания чистой и сменной производительности агрегата, га/ч;

$M(\bar{W}_{час})$  – матожидание производительности агрегата за час эксплуатационного (сменного) времени;

$T_{cm}$  – время смены, час;

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

$M(\bar{g}_w)$  – матожидание погектарного расхода топлива, кг/га;

$M(\bar{G}_{Tcm})$  – матожидание расхода топлива двигателя за час сменного времени, кг/ч.

При проведении теоретических расчетов величину тягового КПД шасси и его составляющих можно определить по формулам [5]:

$$M(\bar{\eta}_m) = M(\bar{\eta}_{mn})M(\bar{\eta}_f)M(\bar{\eta}_\delta); \quad (9)$$

$$M(\bar{\eta}_f) = M(\bar{P}) / (M(\bar{P}) + \bar{P}_f); \quad (10)$$

$$M(\bar{\eta}_\delta) = 1 - M(\bar{\delta}); \quad (11)$$

$$M(\bar{\delta}) = B^{-1} \ln [A / (\varphi_{max} - M(\bar{P}) / (\lambda_x M(\bar{G}))], \quad (12)$$

где  $M(\bar{\eta}_{mn})$  – матожидание КПД механических потерь;

$M(\bar{\eta}_f)$  – матожидание КПД, учитывающего потери на качение МТА;

$M(\bar{\eta}_\delta)$  – матожидание КПД, учитывающего потери на буксование движителей;

$\bar{P}_f$  – среднее значение силы сопротивления качению, кН;

$M(\bar{\delta})$  – матожидание коэффициента буксования, %;

$A$ ,  $B$ ,  $\varphi_{max}$  – коэффициенты осредненных зависимостей коэффициентов использования сцепного веса гусеничного трактора на почвенном фоне – стерня пшеницы на среднесуглинистом черноземе;

$\lambda_x$  – коэффициент нагрузки на ведущие колеса трактора;

$M(\bar{G})$  – среднее значение эксплуатационного веса агрегата, кН.

Количество израсходованного топлива за час сменного времени определяется с учетом расхода топлива на рабочем и холостом ходу шасси, заездах и транспортных переездах агрегата, холостом режиме работы по формуле:

$$M(\bar{G}_T) = 10^{-3} g_{en} N_{вoм} + 10^{-3} g_{en} N_m [\bar{\lambda}_{G_T} \tau_{cm} + \bar{\lambda}_{G_T} \tau_s + \bar{\lambda}_{G_T} \tau_o + \bar{\lambda}_{G_T} \tau_m + \bar{\lambda}_{G_T} \tau_d], \quad (13)$$

где  $g_{en}$  – номинальный удельный расход топлива двигателя, г/кВт · ч;

$N_{вoм}$ ,  $N_m$  – мощности, затрачиваемые на привод рабочих органов машины и на поступательное движение агрегата, кН;

$\bar{\lambda}_G$  – коэффициенты использования номинального расхода топлива соответственно на рабочем ходу трактора  $\bar{\lambda}_{G_T}$ , заездах агрегата  $\bar{\lambda}_{G_{Tз}}$ , транспортных переездах агрегата  $\bar{\lambda}_{G_{Tп}}$ , холостом ходу трактора  $\bar{\lambda}_{G_{Tх}}$ , холостом режиме работы двигателя  $\bar{\lambda}_{G_{Tд}}$ ;

$\tau_{cm}$ ,  $\tau_s$ ,  $\tau_o$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_d$  – соответственно коэффициенты использования сменного времени по элементам его затрат.

Значение коэффициента часового расхода топлива на рабочем ходу определяется по формуле:

$$M(\bar{\lambda}_{G_T}) = 991 - 4,02q + 3,24\varepsilon_{np} + 1926v - 1542qv - 2337v^2 \quad (14)$$

Заезды, холостые переезды агрегатов с поля на поле и холостые ходы трактора выполняются при загрузке двигателя на регуляторной ветви характеристики. Тогда величина расхода топлива на этих операциях определяется по формуле:

$$G_t = G_{xx} + (G_n - G_{xx}) \cdot \frac{P_{kz}}{P_{kHx}}, \quad (15)$$

где  $P_{kz}$ ,  $P_{kHx}$  – касательная сила тяги трактора на холостом ходу при заездах и холостых переездах агрегата и касательная сила тяги при номинальной загрузке двигателя.

Если принять скорость движения шасси на z-й передаче постоянной при работе двигателя с недогрузкой и номинальном режиме, то после преобразования уравнения (15) получим:

$$G_t = G_{xx} + (G_n - G_{xx}) \frac{P_{kz} V_z}{\eta_{mn} \eta_\delta N_{en}}, \quad (16)$$

где  $V_z$  – средняя скорость заездов и переездов агрегата с поля на поле.

Значение касательной силы тяги определим по формуле:

$$P_{kz} = f G_{mp} + f_m G_m, \quad (17)$$

где  $f$ ,  $f_m$  – коэффициенты сопротивления качению трактора и с.-х. машины;

$G_{mp}$ ,  $G_m$  – вес трактора и с.-х. машины.

Определим величину  $\bar{\lambda}_{G_{Tа}}$  через мощность на колесе:

$$\bar{N}_k = P_{kz} \bar{v}_T, \quad (18)$$

где  $v_T$  – теоретическая скорость агрегата.

Величина мощности на колесе равна:

$$\bar{N}_k = P_{kz} \frac{\bar{V}_p}{(1-\delta)} \quad (19)$$

Определим мощность на качение агрегата:

$$\bar{N}_f = \frac{\bar{N}_k}{\eta_f \eta_{mn}}; \quad (20)$$

$$\bar{\lambda}_{G_{Ta}} = \frac{\bar{N}_f}{N_e} \quad (21)$$

Коэффициент использования номинального расхода топлива на холостом ходу трактора  $\bar{\lambda}_{G_{Tr}}$  определится аналогично формулам (16)–(20) без веса агрегируемой с.-х. машины.

Наибольший интерес в качестве критерия оптимизации параметров и режимов работы тягово-приводного МТА представляет комплексный критерий, учитывающий производительность агрегата, погектарный расход и стоимость топлива, амортизационные отчисления на технику, стоимость техники, эффективность использования агрегата, заработную плату обслуживающего персонала. Таким критерием являются средние совокупные затраты средств, включающие в себя затраты на эксплуатацию агрегата и потери от уплотняющего воздействия движителей на почву.

С использованием данной матмодели были рассчитаны выходные показатели работы

ЭППК (энергетического почвообрабатывающего посевного комплекса): тягово-приводного агрегата на базе гусеничной машины МТ-5 и ППК, тягового агрегата на базе колесного трактора К-701 и ППК.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают достоверность вероятностной математической модели «почва-почвообрабатывающий посевной комплекс-двигатель-трансмиссия-двигатель».

### Библиографический список

1. Агеев Л.Е., Бахриев С.Х. Эксплуатация энергонасыщенных тракторов. М.: Агропромиздат, 1991. 271 с.
2. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. М.: Машиностроение, 1976. 456 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 576 с.
4. Красовских В.С. Повышение эффективности функционирования тяговых агрегатов за счет оптимизации параметров и эксплуатационных режимов работы в степных и лесостепных районах Западной Сибири: Автореф. дис. докт. техн. наук. Спб.; Пушкин, 1991. 37 с.
5. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. М.: Колос, 1972. 384 с.



УДК631.3

В.С. Красовских,  
Т.В. Добродомова,  
Д.В. Синогейкин

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЯГОВО-ПРИВОДНОГО МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

В условиях Сибири, где среднемноголетняя сумма осадков неравномерна и не больше 300–350 мм, необходимо использовать влагосберегающие машинные технологии с ограничением числа проходов машин для уменьшения глубины уплотнения почвы, с совмещением технологических операций. Для этого следует применять комбинированные агрегаты, позволяющие проводить сразу несколько с.-х. операций, такие как почвообрабатывающий посевной комплекс (ППК) производства ОАО «Рубцовский машиностроительный завод».

ППК представляют собой сцеп, состоящий из культиватора (рама сварной конструкции из балок закрытого профиля) и прицепной тележки, на которой смонтированы: два бункера

(один для семян, другой для удобрений), двигатель привода вентилятора, вентиляторная установка, дозаторы подачи семян и удобрений из бункеров, загрузочно-разгрузочный шнек для загрузки (разгрузки) бункеров.

Достоинства почвообрабатывающего посевного комплекса:

- совмещение технологических операций (предпосевная культивация почвы, посев зерновых культур, внесение минеральных удобрений, послепосевное прикатывание, удаление сорняков);
- автономность зернотукового бункера;
- универсальность, которая заключается в возможности сменных рабочих органов и ис-