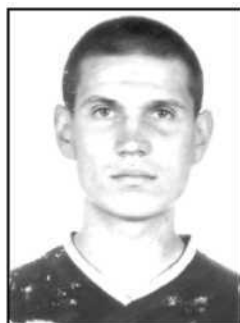


# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ



УДК 631.31

В.С. Красовских,  
Б.В. Адоньев

## ВЕРоятНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПОСЕВНОГО КОМПЛЕКСА

Все большее распространение на полях края получают сберегающие технологии. Наиболее важным элементом такой технологии является проведение посева без предварительной основной обработки, совмещенного в одном проходе с культивацией и другими операциями. Для осуществления данной операции отечественными предприятиями освоен выпуск почвообрабатывающих посевных комплексов (ППК, ПК «Кузбасс» и др.). Кафедрой «Тракторы и автомобили» АГАУ ИТАИ и в ряде организаций также были спроектированы и испытаны блочно-модульные почвообрабатывающие посевные комплексы. Эти комплексы имеют определенные преимущества по сравнению с промышленными образцами, меньшую кинематическую длину агрегата, конструктивную массу, стоимость и др. В качестве недостатка отмечаем необходимость осуществлять более частые дозаправки посевным материалом.

Для определения вероятностно-статистических оценок показателей работы блочно-модульного почвообрабатывающего посевного комплекса используем одномерную модель, позволяющую по закону распределения и числовым характеристикам входного воздействия  $X$ , используя детерминированные функции связи  $F(X)$ , определять законы распределения и числовые харак-

теристики выходных параметров  $Y$ . При этом величину математического ожидания параметра  $\bar{Y}$  определяют по формуле (1):

$$M(\bar{Y}) = \int_{-\infty}^{\infty} Y \cdot \varphi(Y) dY = \int_{-\infty}^{\infty} f(X) \cdot \varphi(X) dX; \quad (1)$$

$$\varphi(Y) = \varphi(X) [dX / dY], \quad (2)$$

где  $\varphi(Y)$  – плотность распределения параметра  $Y$ ;

$\varphi(X)$  – плотность распределения входного воздействия (аргумента),  $X$ .

Установлено, что основное влияние на выходные параметры агрегата в определенных условиях его эксплуатации оказывает изменение тягового сопротивления [1]. Однако при этом не учитывается влияние скорости движения агрегата на характер распределения входного воздействия  $\varphi(X)$ , которое может быть выражено зависимостью [2]:

$$k = k_{np} [1 + \varepsilon_{np} (V^2 - V_{np}^2)], \quad (3)$$

где  $k$ ,  $k_{np}$  – удельное и приведенное удельное тяговое сопротивление агрегата, соответствующее скорости приведения  $V_{np}$ ;

$\varepsilon_{np}$  – коэффициент пропорциональности, соответствующий скорости приведения  $V_{np}$ .

Чтобы упростить расчеты по формулам (1)-(3), перейдем от непрерывного распределения к дискретному. Для этого диапазон возможных значений удельного тягового сопротивления (с заданной вероятностью) разобьем на интервалы (классы). Если скорость движения в каждом классе нагрузки принять постоянной  $V_i$ , то, зная значения математического ожидания по группе полей  $M(\bar{K}_{np})$  и коэффициента вариации  $v_{zn}$ , можно определить вероятность работы в принятых интервалах нагрузки по выражению:

$$P_i = \Phi(t_i) \Big|_{t_{i \min}}^{t_{i \max}} ; \quad (4)$$

$$t = [\bar{K}_{np} - M(\bar{K}_{np})] / \sigma, \quad (5)$$

где  $\Phi(t_i)$  – табулированная функция Лапласа;

$t$  – аргумент;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение величины  $K_{np}$ .

По полученным дискретным значениям вероятности на каждом  $i$ -м интервале удельного тягового сопротивления агрегата определяем выходные параметры блочно-модульного ППК. Математические ожидания тягового сопротивления и выходных параметров агрегата в этом случае определяются следующим выражением:

$$M(\bar{Y}) = \sum_{i=1}^n \bar{Y}_i \cdot P_i. \quad (6)$$

Выбор рационального диапазона загрузки трактора по тяге обосновывается необходимостью получения наилучших технико-экономических показателей агрегата. При этом состав агрегата подбирается таким, чтобы трактор мог работать с определенной вероятностью без перегрузок, превышающих допустимые значения.

Воздействовать на характер выходных параметров агрегата возможно в основном за счет изменения ширины захвата агрегата и выбирая рациональную передачу трактора. Вычисление максимально допустимой ширины захвата агрегата осуществляем по формуле:

$$B_{max} = \frac{P_{дон}}{M(\bar{K}_{np}) \cdot (1 - t_p v_{zn}) [1 + \varepsilon_{np} (V_p)^2 - V_{np}^2]}, \quad (7)$$

где  $P_{дон}$  – минимальное из максимально допустимых значений тягового усилия

развиваемого трактором по тяге буксованию и агротехнической скорости движения:

$$\left. \begin{matrix} \bar{P}_{min} \\ \bar{P}_{Va max} \end{matrix} \right\} \geq P_{дон} \leq \left\{ \begin{matrix} \bar{P}_{max} \\ \bar{P}_{V\delta max} \end{matrix} \right., \quad (8)$$

где  $\bar{P}_{max}$  – максимально допустимая сила тяги:  $\bar{P}_{max} = \chi_{II} P_H$ ;

$\chi_{II}$  – коэффициент перегрузки по тяге,  $\chi_{II} = 1,2$  для гусеничных и  $\chi_{II} = 1,125$  для колесных машин;

$P_H$  – номинальная сила тяги трактора, кН;

$\bar{P}_{min} = 0,85 P_{H-1}$  – минимальное рабочее тяговое усилие трактора;

$P_{H-1}$  – номинальная сила тяги трактора предшествующего тягового класса;

$\bar{P}_{V\delta max}$  – максимально допустимая сила тяги трактора по буксованию движителя;

$\bar{P}_{Va max}$  и  $\bar{P}_{V\delta max}$  – тяговые усилия трактора, соответствующие максимально и минимально допустимым скоростям движения агрегата по агротехническим требованиям.

Задавшись шириной захвата, определяем интервалы тягового сопротивления. Принимаем за начало первого интервала  $P_{дон}$ , значения усилий тяги последующих интервалов вычисляем итерационным методом, в первом приближении скорость движения принимается равной значению скорости предыдущего класса.

Математическое ожидание нагрузки на крюке трактора по группе полей с достаточно высокой степенью аппроксимируется уравнением вида:

$$M(\bar{Y}) = Y_H \cdot \lambda_Y, \quad (9)$$

где  $Y_H$  – номинальные значения мощности  $N_{EH}$  и расхода топлива  $G_H$  двигателем;

$\lambda_Y$  – коэффициент использования номинальной мощности  $\lambda_N$  двигателя или номинального расхода топлива  $\lambda_G$  для группы полей.

По выходным параметрам двигателя можно определить средние показатели трактора и агрегата для группы полей по соотношениям:

$$M(\bar{V}) = \sum_{i=1}^n V_i \cdot P_i \quad (10)$$

Вероятность каждого интервала тягового усилия и скорости будет соответствовать вероятности, вычисленной по формуле (4); значение средней скорости на  $i$ -м интервале определяем по выражению (11), а  $M(\bar{G})$ ,  $M(\bar{g}_{кр})$ ,  $M(\bar{W})$  – зависимостями (12)-(14):

$$V_i = \frac{N_{EH} \lambda_N \eta_{МП} \eta_f \eta_\delta}{(P_{i\text{cp}} + Gf)100}; \quad (11)$$

$$M(\bar{G}) = \frac{G_H \cdot \lambda_G}{100}; \quad (12)$$

$$M(\bar{g}_{кр}) = \frac{M(G_H) \cdot \lambda_N}{N_{EH} \lambda_N \eta_{МП} \eta_f \eta_\delta}; \quad (13)$$

$$M(\bar{W}) = B_P M(\bar{V}), \quad (14)$$

где  $N_{EH}$  – номинальная мощность двигателя;

$\eta_{МП}$ ,  $\eta_f$ ,  $\eta_\delta$  – КПД механических потерь, перекачивания и буксования;

$G_H$  – номинальный расход топлива двигателем;

$g_{кр}$  – удельный крюковой расход топлива.

Коэффициенты  $\lambda_N \cdot \lambda_G$  зависят от структуры рабочих передач трансмиссии, особенностей характеристики двигателя, математических ожиданий коэффициента пропорциональности  $\varepsilon_{np}$  для групп полей и коэффициента вариации тягового сопротивления агрегата  $v_{zn}$  в среднем для отдельного поля. Для отечественных тракторов общего назначения с характеристиками двигателей, отрегулированных с запасом по крутящему моменту  $k_m = 1,13-1,17$ , значения этих коэффициентов с достаточной степенью точности (при  $0,1 \leq v_{np} \leq 0,2$ ) в рабочем диапазоне тяговых усилий можно определить по уравнениям регрессии [3]:

$$\begin{aligned} \lambda_N = & 114 - 13,85g_{кр} + 8,43\varepsilon_{np} + \\ & + 157,3M(v_{zn}) - 161,3g_{кр}M(v_{zn}) - \\ & - 162,7[M(v_{zn})]^2; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \lambda_G = & 99,1 - 4,02g_{кр} + 3,24\varepsilon_{np} + \\ & + 192M(v_{zn}) - 154g_{кр}M(v_{zn}) - \\ & - 233,7[M(v_{zn})]^2. \end{aligned} \quad (16)$$

Для наших условий ( $v_{zn} = 0,12$ ;  $\varepsilon_{np} = 0,043$ ) преобразуются в уравнения вида:

$$\lambda_N = 130,8 - 33,2g_{кр}; \quad (17)$$

$$\lambda_G = 118,9 - 22,5g_{кр}; \quad (18)$$

где  $g_{кр} = \frac{1}{z-1} \sum_{n=1}^{z-1} (i_{мпn} / i_{мп(n+1)})$  – среднее значение отношений передаточных чисел  $i$ -й трансмиссии в рабочем диапазоне тяговых усилий с числом передач  $z$ .

На состав комплекса и режимы его работы основное влияние оказывают конструктивные и эксплуатационные особенности трактора и комплекса, значения  $M(\bar{K}_{кр})$ , коэффициента  $v_{zn}$ , максимально и минимально допустимые по агротребованиям скорости  $V_{a\text{max}}$ ,  $V_{a\text{min}}$  и соответствующие им тяговые усилия  $\bar{P}_{a\text{max}}$  и  $\bar{P}_{a\text{min}}$ , а также максимально допустимая загрузка трактора  $\bar{P}_{d\text{max}}$  по тяге.

На рисунке приведена эксплуатационная тяговая характеристика трактора Т-4А при работе с блочно-модульным комплексом на рациональных режимах.

Данная характеристика позволяет оценивать тягово-экономические показатели трактора для конкретных условий эксплуатации, определять рациональный состав агрегата и режимы его работы. Для этого задают математическим ожиданием нагрузки на крюке  $M(\bar{P})$ , определяют по характеристике соответствующие значения скорости движения  $M(\bar{V})$ , расхода топлива в единицу времени  $M(\bar{G})$  и вычисляют ширину захвата  $B_P$  агрегата, математические ожидания производительности  $M(\bar{W})$  и расхода топлива на единицу обработанной площади  $M(\bar{g}_w)$ .

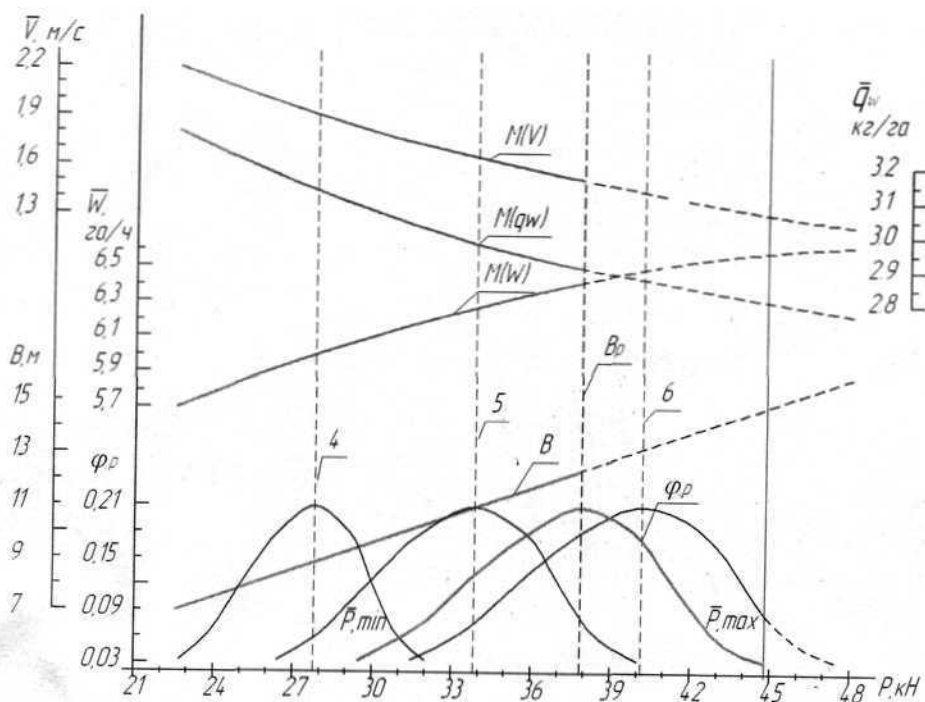


Рис. Эксплуатационная вероятностно-статистическая характеристика блочно-модульного почвообрабатывающего посевного комплекса в агрегате с трактором Т-4А:

$$M(\bar{k}_{np}) = 3,14; v_{zn} = 0,12; \varepsilon_{np} = 0,034; v = 0,1;$$

4 – при ширине захвата 8,8 м; 5 – при ширине захвата 11 м;

6 – при ширине захвата 13,2 м;  $B_p$  – при рациональной ширине захвата 12,4 м

Анализ результатов показывает, что трактор Т-4А целесообразно использовать на группе полей в диапазоне тяговых усилий от  $P_{min} = 23$  до  $P_{max} = 48$  кН на скоростях от  $V_{min} = 1,32$  м/с до  $V_{max} = 2,66$  м/с. В рекомендуемом составе агрегата на полях края около 32% времени трактор будет работать с нагрузками, превышающими номинальную силу тяги  $P_H = 40$  кН.

При существующей ширине захвата блока 2,2 м. агрегат, скомпонованный из 4 и 5 блоков будет работать с худшими параметрами, чем рациональные расчетные. Укомплектовав агрегат 6 блоками (рис.), на 8% полей края трактор в среднем будет работать с тяговым усилием, превышающим максимально допустимое значение.

Аналогичным образом можно рассчитать значения выходных параметров для составов блочно-модульного почвообрабатывающего посевного комплекса с любыми тракторами. Окончательное

решение о рациональных параметрах блока можно будет принять после расчета, сделанного для всех основных тракторов, эксплуатируемых на полях края.

### Библиографический список

1. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допустимых режимов работы машинно-тракторных агрегатов / Л.Е. Агеев. Л.: Колос, 1978. 40 с.
2. Анилович В.Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В.Я. Анилович, Ю.Т. Водолажченко. М.: Машиностроение, 1976. 26 с.
3. 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. д-ра техн. наук / В.С. Красовских. Барнаул, 1991.

