

Volodymyr Bulgakov, \*, Janusz Nowak, Wojciech Przystupa\*\*

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕКЛОУБОРОЧНЫХ АГРЕГАТОВ ПО КРИТЕРИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

**Аннотация.** В статье приведено аналитическое исследование по обоснованию и выбору оптимальных параметров агрегатов, которые составлены из трактора и прицепной корнеуборочной машины. В основу данного исследования положено построение математической модели, которая описывает условия эффективного агрегатирования и дает возможность определить рабочую скорость и производительность агрегата. Проведенные расчеты на ЭВМ позволили определить оптимальные параметры указанных агрегатов по критерию производительности

**Ключевые слова:** оптимальные параметры, корнеуборочная машина, критерия производительности

### ВВЕДЕНИЕ

Высокая эффективность функционирования мобильного сельскохозяйственного машинного агрегата достигается за счет правильного соотношения между его техническими параметрами, режимами работы и внешними производственными условиями: физико-механическими свойствами почвы, наклонами поверхности поля, характеристиками обрабатываемых материалов, агротехническими требованиями к его обработке и др.

В последнее время машиностроительный комплекс предлагает производителям достаточно широкий выбор свеклоуборочной техники, в том числе и прицепные корнеуборочные машины различной рядности (двух-, трех-, четырех-, шестирядные). Прогнозирование степени повышения производительности свеклоуборочных машин, в зависимости от удельных капиталовложений рассмотрено в монографии [1]. Однако вопросы определения оптимальных параметров свеклоуборочных агрегатов по критериям мощности и производительности еще требуют фундаментального теоретического рассмотрения. Обоснуем вначале выбор оптимальных параметров прицепных

---

\* Prof. dr Volodymyr Bulgakov, Gosudarstvienny Agrarny Universytet, Ukraina

\*\* Dr hab. Janusz Nowak, dr Wojciech Przystupa, Akademia Rolnicza w Lublinie, Polska

свеклоуборочных машин по критерию мощности трактора, который их агрегирует.

Эффективность использования прицепных свеклоуборочных агрегатов необходимо обосновывать с помощью количественных критериев, которые бы с достаточной степенью точности определяли их эксплуатационные свойства и техническое совершенство. К числу таких критериев следует отнести производительность, минимум эксплуатационных затрат [2], удельную производительность на 1 кВт мощности трактора и другие показатели.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Производительность машинно-тракторного агрегата может быть вычислена с помощью такого известного соотношения

$$W = 0,1 B \cdot V_r, \quad \left[ \frac{га}{ч} \right], \quad (1)$$

где:  $B$  – ширина захвата, [м];

$V_r$  – поступательная скорость движения агрегата  $\left[ \frac{км}{ч} \right]$ .

Из уравнения (1) следует, что производительность агрегата возрастает прямопропорционально увеличению скорости его движения или ширины захвата. Однако прямой пропорциональной зависимости тут естественно нет, поскольку эти величины не являются абсолютно независимыми. Так, при увеличении ширины захвата агрегата, скорость его движения будет уменьшаться и, наоборот, при увеличении скорости движения (или для обеспечения ее высокого значения) уменьшается допустимая ширина захвата. Функциональная связь между скоростью движения и шириной захвата определяется тяговым балансом и балансом мощности машинного агрегата. Уравнение баланса мощности для случая тягово-приводного агрегата в общем виде можно представить такой зависимостью [4]:

$$N_e \cdot \chi = \frac{R_a \cdot V_r}{3600 \cdot \eta_t (1 - \delta)} = \frac{N_p \cdot B \cdot V_r \cdot H}{360 \cdot \eta_v}, \quad [кВт], \quad (2)$$

где:  $R_a$  – тяговое сопротивление прицепного свеклоуборочного агрегата, [Н];

$N_p$  – удельные затраты энергии на выполнение технологического процесса

уборки корнеплодов сахарной свеклы,  $\left[ \frac{кВт \cdot с}{кг} \right]$ ;

$H$  – урожайность корнеплодов сахарной свеклы,  $\left[ \frac{ч}{га} \right]$ ;

$N_e$  – номинальная мощность двигателя, [кВт];

$\chi$  – коэффициент загрузки двигателя;

$\eta_t$  – коэффициент полезного действия трансмиссии трактора;

$\eta_v$  – коэффициент полезного действия вала отбора мощности трактора;

$\delta$  – буксование трактора.

Тяговое сопротивление прицепного свеклоуборочного агрегата будет определяться с помощью такого соотношения:

$$R_a = R_i + R_f + R_m, [H], \quad (3)$$

где:  $R_i, R_f$  – сопротивление трактора на подъем и перекачивание,  $[H]$ ;

$R_m$  – тяговое сопротивление корнеуборочной машины во время выполнения технологического процесса уборки,  $[H]$ .

Левая часть уравнения тягового баланса (2) численно равна движущей силе трактора, которая обеспечивает преодоление сил сопротивления, которые в целом действуют на весь уборочный агрегат. Определим составляющие тягового сопротивления:

$$R_i = mg \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

$$R_f = mg \cdot f \cos \alpha, \quad (5)$$

$$R_m = k \cdot B, \quad (6)$$

где:  $\alpha$  – угол подъема,  $[rad]$ ;

$m$  – масса трактора,  $[кг]$ ;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $\left[ \frac{M}{c^2} \right]$ ;

$f$  – коэффициент сопротивления передвижения трактора;

$k$  – удельное сопротивление корнеуборочной машины,  $\left[ \frac{H}{M} \right]$ .

Коэффициент  $k$  учитывает как полезные технологические деформации при уборке, так и сопротивление на передвижение прицепной свеклоуборочной машины вдоль направления движения агрегата. При малых углах подъема  $\alpha$  величина  $\sin \alpha \cdot 100$  представляет собой процент подъема  $i$ .

С учетом выражений (3) и (4), (5), (6) уравнение баланса мощности (2) можно записать в следующем виде

$$N_e \cdot \chi = V_r \frac{(kB + mg \cdot \psi) \eta_v + 10 N_p B \cdot H \eta_t (1 - \delta)}{3600 \cdot \eta_t \eta_v (1 - \delta)}, \quad (7)$$

где:  $\psi$  – коэффициент сопротивления передвижения трактора, который будет равен  $\psi = \sin \alpha + f \cos \alpha$ .

Решая уравнение (7) относительно  $V_r$ , находим значение скорости передвижения свеклоуборочного агрегата по полю

$$V_r = \frac{3600 \cdot \chi \cdot N_e \eta_t \eta_e (1 - \delta)}{(k B + mg \psi) \eta_v + 10 N_p B \cdot H \eta_t (1 - \delta)}, \left[ \frac{\text{км}}{\text{ч}} \right], \quad (8)$$

Вычислив из уравнения (8) рабочую скорость движения агрегата в соответствии с соотношением (1) можно получить его производительность.

Однако в уравнении (8) коэффициенты  $\chi$ ,  $\eta_t$  и  $\eta_v$  можно считать заданными, а буксование агрегата  $\delta$  наоборот необходимо определить. В практических расчетах используют различные эмпирические формулы для построения кривой буксования трактора. В данном случае для определения буксования используем зависимость, приведенную в [4]. Она имеет такой вид

$$\varphi = \varphi_m - a e^{-b\delta}, \quad (9)$$

где:  $\varphi$  – коэффициент использования сцепного веса;

$\varphi_m$  – коэффициент сцепления;

$a, b$  – постоянные коэффициенты, которые зависят от типа трактора и агрофона.

В выражении (9) зависимость буксования  $\delta$  от коэффициента использования сцепного веса  $\varphi$ , задано в неявной форме, что является не очень удобным при проведении конкретных вычислений. С помощью алгебраических преобразований выражения (9), получим формулу буксования, которая в этом случае будет удобной для практического использования

$$\delta = -\frac{1}{b} \ln \frac{\varphi_m - \varphi}{a}. \quad (10)$$

Переменную  $\varphi$  в уравнении (10) можно вычислить с помощью такой формулы

$$\varphi = \frac{mg\psi + kB}{\lambda mg}, \quad (11)$$

где:  $\lambda$  – коэффициент сцепного веса.

Уравнения (1), (8), (10) и (11) фактически представляют собой математическую модель, позволяющую вычислять скорость движения и производительность любого прицепного свеклоуборочного агрегата.

В процессе вычислений необходимо учитывать агротехнические требования к скорости передвижения по полю корнеуборочной машины  $4,0 \leq V_r \leq 10,0$   $\left[ \frac{\text{км}}{\text{ч}} \right]$ , а также ограничение, накладываемое на сцепление движителей трактора с почвой такого вида  $\varphi < \varphi_m$ .

Для практической реализации разработанной математической модели была составлена программа расчетов на ПЕОМ, которая позволяет за один проведенный расчет выполнить вычисления для нескольких прототипов тракторов, которые могут агрегатировать прицепную корнеуборочную машину на каждом конкретном агротехническом фоне.

Далее необходимо, прежде всего, учесть, что тип трактора определяет его массу  $m$ , мощность двигателя  $N_e$ , коэффициент  $\lambda$ , а коэффициенты  $\varphi_m$ ,  $a$  и  $b$  принимаются для каждого конкретного агрофона. Кроме этого для каждого варианта расчетов необходимо задать урожайность корнеплодов сахарной свеклы  $H$ , удельные затраты энергии на выполнение технологического процесса  $N_p$ , максимальный процент подъемов  $i$ , коэффициент сопротивления передвижения трактора  $f$ , коэффициент полезного действия вала отбора мощности трактора  $\eta_v$ . Коэффициент полезного действия трансмиссии трактора  $\eta_t$  изменяется в зависимости от типа трактора (для гусеничного трактора он равен  $\eta_t = 0,87$ , для колесного –  $\eta_t = 0,92$ ). Удельное сопротивление прицепного свеклоуборочного агрегата  $k$  будет изменяться для каждого типа трактора и корнеуборочной машины и будет находиться в пределах от 6000 до 10000  $\left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$ . Изменение ширины захвата прицепной корнеуборочной машины осуществляется в пределах от 0,90 до 3,15 [м], с шагом 0,45 [м], т. е. фактически от двухрядного до шестирядного вариантов.

При каждом варианте расчетов вычислялись и выдавались в файл результаты удельное сопротивление для каждой ширины захвата и соответствующие им скорость движения агрегата  $V_r$ , производительность агрегата  $W$ , тяговое сопротивление агрегата  $R_a$ , коэффициент использования сцепного веса  $\varphi$  и буксование  $\delta$ .

Для вычислений построенной математической модели были заданы конкретные значения параметров, которые в нее входят. А именно: средняя урожайность сахарной свеклы принималась равной –  $H = 300 \left[ \frac{\text{т}}{\text{га}} \right]$ ; удельные затраты энергии на выполнение технологического процесса уборки сахарной свеклы –  $N_p = 1,75 \left[ \frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{кг}} \right]$ ; коэффициенты –  $\chi = 0,90$ ;  $\eta_v = 0,95$ ;  $f = 0,07$ ; считалось, что на свекловичном поле встречаются подъемы не более 5%; удельное сопротивление прицепного свеклоуборочного агрегата составляет

$k = 6000 \dots 10000 \left[ \frac{H}{M} \right]$  (при расчетах, шаг изменения удельного сопротивления принимался равным  $\Delta k = 1000 \left[ \frac{H}{M} \right]$ ). Технические данные, касающиеся тракторов, которые могут использоваться для агрегатирования прицепной корнеуборочной машины, приведены в таблице.

Таблица 1. Технические характеристики тракторов

Table 1. The technical data of the tractors

Марка трактора	$mg, \kappa\Gamma$	$N_e, \kappa Bm$	$\varphi_m$	$a$	$b$
T-40M-1	3000	36,8	0,6	0,75	8,81
MTЗ-80-1	3810	58,9	0,6	0,75	8,81
T-70C-2	4580	51,5	0,67	0,753	47,6

Для заданных входных параметров рассматриваемой системы, было выполнено 72 варианта вычислений. Так, в частности, были получены такие оптимальные параметры для прицепных корнеуборочных машин, которые агрегируются с различными типами тракторов.

## ВЫВОДЫ

Для трактора типа T-40 наибольшая производительность  $W = 0,60 \left[ \frac{za}{\text{ч}} \right]$  имеет место при ширине захвата  $B = 0,9 \text{ [м]}$ ; для удельного сопротивления прицепной корнеуборочной машины  $k = 7000 \left[ \frac{H}{M} \right]$ , при скорости ее движения  $V_r = 6,63 \left[ \frac{\kappa M}{\text{ч}} \right]$ . Такой тип трактора, таким образом, обеспечивает наибольшую производительность при агрегатировании лишь двухрядной прицепной корнеуборочной машины.

Для трактора типа MTЗ-80 наибольшая производительность  $W = 1,02 \left[ \frac{za}{\text{ч}} \right]$  будет практически при двух значениях удельного сопротивления прицепной корнеуборочной машины:  $k = 7000 \left[ \frac{H}{M} \right]$  и  $k = 9000 \left[ \frac{H}{M} \right]$ , при ширине захвата  $B = 1,80 \text{ [м]}$  и скорости движения  $V_r = 5,68 \left[ \frac{\kappa M}{\text{ч}} \right]$ . Эти показатели получены для четырехрядного варианта прицепной корнеуборочной машины. При ширине захвата  $B = 2,70 \text{ [м]}$  (шестирядный вариант) и при удельном

сопротивлении прицепной корнеуборочной машины  $k = 10000 \left[ \frac{H}{M} \right]$  агрегат, в составе которого есть колесный трактор типа МТЗ-80 не обеспечивает агрегатирование и требуемую производительность вследствие недостаточного сцепления его колес с почвой.

Для гусеничного трактора типа Т-70 С наибольшая производительность  $W = 1,03 \left[ \frac{га}{ч} \right]$  будет при ширине захвата  $B = 2,7 \text{ [м]}$ , при удельном сопротивлении прицепной корнеуборочной машины  $k = 7000 \left[ \frac{H}{M} \right]$ , при скорости ее движения  $V_r = 3,80 \left[ \frac{км}{ч} \right]$ . При ширине захвата  $B = 2,7 \text{ [м]}$  и удельном сопротивлении прицепной корнеуборочной машины  $k = 10000 \left[ \frac{H}{M} \right]$  производительность агрегата будет равна  $W = 0,86 \left[ \frac{га}{ч} \right]$  при скорости движения  $V_r = 3,18 \left[ \frac{км}{ч} \right]$ .

Таким образом, гусеничный трактор типа Т-70 С будет обеспечивать достаточно высокую производительность при агрегатировании прицепной шестирядной корнеуборочной машины при двух значениях удельного сопротивления, т.е. при работе на средних и тяжелых почвах. Колесные тракторы обеспечат достаточную производительность лишь только при агрегатировании двух-, трех- и четырехрядных прицепных корнеуборочных машин.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Погорельй Л.В.**, 1984: Индустриализация агропромышленного комплекса. К.: Техніка.
2. **Киртбая Ю.К.**, 1982: Резервы использования машинно-тракторного парка. М.: Колос.
3. **Киртбая Ю.К.**, 1971: Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка. М.: Колос.
4. **Колобов Г.Г.**, 1972: Парфенов А.П. Тяговые характеристики тракторов. М.: Машиностроение.

#### SUBSTANTIATION OF SUGAR-BEET HARVESTER OPTIMUM PARAMETERS BY EFFICIENCY CRITERION

**Summary.** The analytical researches of substantiation and choice of optimum parameters of units, which include a tractor and trailing sugar-beet harvester, is given. The research basis is determined

by mathematical model, which describes conditions of effective unitizing, enables to define working speed and unit productivity. The accounts, carried out on PC, have allowed to define optimal parameters of specified units by productivity criterion.

**Keywords:** optimum parameters, sugar-beet harvester, efficiency criterion

Recenzent: Prof. dr Dymytro Woytiuk