

УДК 631.356.02

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АГРЕГАТУВАННЯ ПРИЧІПНОЇ БУРЯКОЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

**Бабка В. М.**, канд. техн. наук

**Маліновський А. С.**, студент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Тел.: (044) 527-82-33

*Складена математична модель, яка описує умови ефективного агрегування причіпних бурякозбиральних машин і аналітично визначає їх робочу швидкість та продуктивність. Проведені розрахунки на ПЕОМ дали можливість визначити оптимальні параметри даних агрегатів за критеріями продуктивності та енергоємності.*

**Проблема.** Ефективність функціонування мобільного машинного сільськогосподарського агрегату досягається за рахунок правильного співвідношення між його технічними і режимними параметрами та зовнішніми виробничими умовами: фізико-механічними властивостями ґрунту, нахилом поверхні поля, характеристиками матеріалу, що обробляється та агротехнічними вимогами до його обробки.

В останній час машинобудівний комплекс України пропонує виробникам широкий вибір бурякозбиральної техніки, в тому числі і причіпні коренезбиральні машини (двох-, трьох-, шестирядні). Прогнозування ступені підвищення продуктивності бурякозбиральних машин в залежності в від питомих капіталовкладень розглянуті в фундаментальній монографії [1].

**Мета дослідження.** Вибір оптимальних параметрів причіпних бурякозбиральних машин за критерієм потужності трактора, який їх агрегує.

**Результати досліджень.** Ефективність застосування причіпних бурякозбиральних агрегатів необхідно обґрунтовувати з допомогою кількісних критеріїв, які б відбивали з достатньою точністю їх експлуатаційні властивості та технічну досконалість. До числа таких критеріїв слід віднести продуктивність, мінімум експлуатаційних витрат [2], питому продуктивність на 1 *кВт* потужності трактора та інші показники.

Продуктивність агрегату обчислюється за відомим співвідношенням

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

де  $B$  – ширина захвату,  $[м]$ ;

$V_r$  – поступальна швидкість руху агрегату  $\left[ \frac{\text{км}}{\text{год}} \right]$ .

З рівняння (1) випливає, що продуктивність агрегату зростає пропорційно збільшенню швидкості або ширини захвату. Проте прямої пропорційності тут немає, бо ці величини не є незалежними: при зростанні ширини захвату швидкість зменшується і, навпаки, при зростанні швидкості зменшується допустима ширина захвату. Функціональний зв'язок між швидкістю і шириною захвату визначається тяговим балансом і балансом потужності агрегату. Рівняння балансу потужності для випадку тягово-привідного агрегату рівняння балансу потужності має вигляд [4, 5]:

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

де  $R_a$  – тяговий опір причіпного бурякозбирального агрегату,  $[Н]$ ;

$N_p$  – питомі витрати енергії на виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків,  $\left[ \frac{\text{кВт} \cdot \text{с}}{\text{кг}} \right]$ ;

$H$  – урожайність коренеплодів буряків,  $\left[ \frac{\text{т}}{\text{га}} \right]$ ;

$N_e$  – номінальна потужність двигуна,  $[кВт]$ ;

$\chi$  – коефіцієнт завантаження двигуна;

$\eta_t$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора;

$\eta_v$  – коефіцієнт корисної дії валу відбору потужності трактора;

$\delta$  – буксування трактора.

Тяговий опір причіпного бурякозбирального агрегату буде визначатись за таким співвідношенням:

$$R_a = R_t + R_f + R_m, \quad [Н], \quad (3)$$

де  $R_i, R_f$  – опір трактора на підйом та перекочування,  $[H]$ ;

$R_m$  – тяговий опір коренезбиральної машини під час виконання технологічного процесу збирання,  $[H]$ .

Ліва частина рівняння тягового балансу (2) чисельно дорівнює рушійній силі трактора, яка забезпечує подолання сил опору, що діють на збиральний агрегат. А саме

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

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

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

де  $\alpha$  – кут підйому,  $[rad]$ ;

$m$  – маса трактора,  $[кг]$ ;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $[M/c^2]$ ;

$f$  – коефіцієнт опору пересування трактора;

$k$  – питомий опір коренезбиральної машини,  $[H/M]$ .

Коефіцієнт  $k$  враховує як корисні технологічні деформації, та і опір на пересування причіпної бурякозбиральної машини вздовж напрямку руху. При малих кутах  $\alpha$  величина  $\sin \alpha \cdot 100$  являє собою відсоток підйому  $i$ .

З врахуванням виразів (3) та (4), (5), (6) рівнянню балансу (2) можна надати такого вигляду:

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

де  $\psi$  – коефіцієнт опору пересування трактора, який дорівнює  $\psi = \sin \alpha + f \cos \alpha$ .

Розв'язуючи рівняння (7) відносно  $V_r$  знаходимо значення швидкості пересування агрегату по полю:

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

Отримав з рівняння (8) робочу швидкість руху агрегату за співвідношенням (1) можна отримати його продуктивність.

Але у рівнянні (8) коефіцієнти  $\chi$ ,  $\eta_t$  та  $\eta_v$  треба вважати заданими, а буксування агрегату  $\delta$  навпаки необхідно визначити. В практичних розрахунках використовують різні емпіричні формули для побудови кривої буксування трактора. В даному випадку для визначення буксування використаємо залежність, що наведена в [4]. Вона має такий вигляд

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

де  $\varphi$  – коефіцієнт використання зчіпної ваги;

$\varphi_m$  – коефіцієнт зчеплення;

$a$ ,  $b$  – сталі коефіцієнти, що залежать від типу трактора та агрофону.

В виразі (9) залежність буксування  $\delta$  від коефіцієнта використання зчіпної ваги задане в неявній формі, що є не дуже зручним при проведенні конкретних обчислень. З допомогою алгебраїчних перетворень виразу (9), отримуємо формулу буксування, яка вже буде зручною для практичного використання:

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

Змінна  $\varphi$  в рівнянні (10) можна бути обчислена за такою формулою:

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

де  $\lambda$  – коефіцієнт зчіпної ваги.

Рівняння (1), (8), (10) та (11) фактично складають математичну модель для обчислення швидкості руху та продуктивності причіпного бурякозбирального агрегату.

В процесі обчислень необхідно враховувати агротехнічні вимоги, щодо швидкості пересування по полю коренезбиральної машини  $4,0 \leq V_r \leq 10,0$ , а також обмеження на зчеплення рушіїв трактора з ґрунтом  $\varphi < \varphi_m$ .

Для практичної реалізації розробленої математичної моделі нами складена програма розрахунків на ПЕОМ, яка дозволяє за один розрахунок виконати об-

числення для кількох прототипів тракторів, що можуть агрегувати причіпну коренезбиральну машину на певному агротехнічному фоні.

Треба насамперед врахувати, що тип трактора визначає його масу  $m$ , потужність  $N_e$ , коефіцієнт  $\lambda$ , а коефіцієнти  $\varphi_m$ ,  $a$  і  $b$  приймаються для кожного агрофону. Крім цього, для кожного варіанта розрахунків треба задати врожайність коренеплодів цукрових буряків  $H$ , питомі втрати енергії на технологічний процес  $N_p$ , максимальний відсоток підйому  $i$ , коефіцієнт опору пересування трактора  $f$ , коефіцієнт корисної дії вала відбору потужності трактора  $\eta_v$ . Коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора  $\eta_t$  змінюється в залежності від типу трактора (для гусеничного трактора він дорівнює  $\eta_t = 0,87$ , для колісного –  $\eta_t = 0,92$ ). Питомий опір причіпного бурякозбирального агрегату  $k$  змінюється для кожного типу трактора в межах від 6000 до 10000  $\left[ \frac{H}{M} \right]$ . Зміна ширини захвату причіпної коренезбиральної машини відбувається в межах від 0,90 до 3,15  $[M]$ , з кроком 0,45  $[M]$ , тобто від двохрядного до шестирядного варіантів.

На кожному варіанті розрахунків обчислювались і видавались в файл результату питомий опір для кожної ширини захвату і відповіді їм швидкість руху агрегату  $V_r$ , продуктивність  $W$ , тяговий опір агрегату  $R_a$ , коефіцієнт використання зчіпної ваги  $\varphi$  та буксування  $\delta$ .

Для обчислення складеної математичної моделі були задані конкретні значення її параметрів. А саме: врожайність цукрових буряків –  $H = 300 \left[ \frac{t}{ca} \right]$ ; питомі втрати енергії на виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків –  $N_p = 1,75 \left[ \frac{kBm \cdot c}{\kappa z} \right]$ ; коефіцієнти –  $\chi = 0,90$ ;  $\eta_v = 0,95$ ;  $f = 0,07$ ; вважалося, що на полі зустрічаються підйоми не вище 5%; питомий опір причіпного бурякозбирального агрегату  $k = 6000..10000 \left[ \frac{H}{M} \right]$  (крок зміни питомого опору  $\Delta k = 1000 \left[ \frac{H}{M} \right]$ ). Технічні данні, що стосуються тракторів, які можуть агрегувати причіпну коренезбиральну машину наведені в таблиці

Таблиця – Технічні характеристики тракторів

Марка трактора	$mg, \kappa z$	$N_e, \kappa Bm$	$\varphi_m$	$a$	$b$
T-40M-1	3000	36,8	0,6	0,75	8,81
MT3-80-1	3810	58,9	0,6	0,75	8,81
T-70C-2	4580	51,5	0,67	0,753	47,6

Для заданих вхідних параметрах системи, що розглядається було виконано 72 варіанта обчислень. Зокрема були отримані такі оптимальні параметри для причіпних коренезбиральних машин, які агрегуються з різними типами тракторів.

Для трактора типу Т-40 найбільша продуктивність  $W = 0,60 \left[ \frac{\text{га}}{\text{год}} \right]$  має місце при ширині захвату  $B = 0,9 \text{ [м]}$ ; для питомого опору причіпної коренезбиральної машини  $k = 7000 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$ , при швидкості її руху  $V_r = 6,63 \left[ \frac{\text{км}}{\text{год}} \right]$ . Тобто такий тип трактора забезпечує найбільшу продуктивність при агрегуванні лише двохрядної причіпної коренезбиральної машини.

Для трактора типу МТЗ-80 найбільша продуктивність  $W = 1,02 \left[ \frac{\text{га}}{\text{год}} \right]$  буде практично при двох значеннях питомого опору причіпної коренезбиральної машини:  $k = 7000 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$  і  $k = 9000 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$ , при ширині захвату  $B = 1,80 \text{ [м]}$  і швидкості руху  $V_r = 5,68 \left[ \frac{\text{км}}{\text{год}} \right]$ . Ці показники отримані для чотирьох рядного варіанту причіпної коренезбиральної машини. При ширині захвату  $B = 2,70 \text{ [м]}$  (шестирядний варіант) і при питомому опорі причіпної коренезбиральної машини  $k = 10000 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$  агрегат в складі якого є колісний трактор типу МТЗ-80 не забезпечує агрегування і продуктивності внаслідок недостатнього зчеплення його коліс з ґрунтом.

Для гусеничного трактора типу Т-70 С найбільша продуктивність  $W = 1,03 \left[ \frac{\text{га}}{\text{год}} \right]$  буде при ширині захвату  $B = 2,7 \text{ [м]}$ , для питомого опору причіпної коренезбиральної машини  $k = 7000 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$ , при швидкості її руху  $V_r = 3,80 \left[ \frac{\text{км}}{\text{год}} \right]$ . При ширині захвату  $B = 2,7 \text{ [м]}$  і питомому опорі причіпної коренезбиральної машини  $k = 10000 \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}} \right]$  продуктивність агрегату буде  $W = 0,86 \left[ \frac{\text{га}}{\text{год}} \right]$  при швидкості руху  $V_r = 3,18 \left[ \frac{\text{км}}{\text{год}} \right]$ .

**Висновки.** Таким чином, на підставі результатів даного дослідження можна стверджувати, що гусеничний трактор типа Т-70 С буде забезпечувати достатньо високу продуктивність при агрегуванні причіпної шестирядної коренезбиральної машини при двох значення питомого опору, тобто при роботі на середніх і важких ґрунтах. Колісні трактори забезпечують достатню продуктивність лише

тільки при агрегуванні двох– , чотирьох рядні причіпні коренезбиральні машини.

#### **Перелік посилань**

1. *Погорельий Л. В.* Индустриализация агропромышленного комплекса.– К.: Техніка, 1984.– 200 с.
2. *Киртбая Ю. К.* Резервы использования машинно–тракторного парка.– М.: Колос, 1982.– 319 с.
3. Пособие по эксплуатации машинно–тракторного парка.– М. : Колос, 1971. – 279 с.
4. *Колобов Г. Г., Парфенов А.П.* Тяговые характеристики тракторов.– М.: Машиностроение, 1972. – 157 с.
5. *Булгаков В. М.* Бурякозбиральні машини. – К.: Аграрна наука, 2011. – 352 с.

#### **SUBSTANTIATION OF SUGAR-BEET HARVESTER OPTIMUM PARAMETERS BY POWER CONSUMPTION CRITERION**

**Summary.** The analytical researches of substantiation and choice of optimal 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.