

Механізація, електрифікація

УДК 631.56.02

© 2017

*В.В. Адамчук,
академік НААН,
доктор технічних наук*

*Національний
науковий центр
«Інститут механізації
та електрифікації
сільського господарства»*

*В.М. Булгаков,
академік НААН,
доктор технічних наук*

*Національний
університет біоресурсів
і природокористування
України*

Є.І. Ігнат'єв

*Таврійський державний
агротехнологічний
університет*

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО АГРЕГАТУ

Мета. Підвищення ефективності використання комбінованого гичкозбирального агрегату у складі фронтально навішеної на колісний трактор гичкозбиральної машини і начепленого позаду очисника головок коренеплодів від залишків гички.

Методи: теорії математичного моделювання, теорії трактора, основ машиновикористання в рослинництві. **Результати.** Розроблена математична модель обґрунтування й вибору оптимальних параметрів машинно-тракторних агрегатів, які складаються з трактора, фронтально навішеної гичкозбиральної машини та задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички. Аналітично визначено залежності робочої швидкості руху цього комбінованого гичкозбирального агрегату та його продуктивності від питомого опору створюваного гичкозбиральною машиною й очисником. **Висновки.** В результаті чисельного моделювання на ПК встановлено, що інтегрально-просапний колісний трактор класу 3 забезпечуватиме найбільшу продуктивність при використанні комбінованих гичкозбиральних агрегатів для всього діапазону ширини захвату та у всьому діапазоні змін питомого тягового опору, а завдяки запасу потужності залишається можливість застосування додаткових приводних пристроїв, зокрема коренезбиральних машин.

Ключові слова: буряк цукровий, гичка, збирання, агрегат, трактор, математична модель, параметри.

Сучасні світові технології збирання гички буряку цукрового передбачають спочатку суцільний безкопінний зріз основного масиву зеленої маси й наступне індивідуальне доочищення головок коренеплодів від залишків гички на корені. При цьому перша технологічна операція по зрізанню основної маси

зеленої гички передбачає збір її врожаю (суцільний безкопінний зріз, збирання скошеної маси й вивантаження), його транспортування для подальшого використання на корм худобі, як зелене добриво, яке потім заорюється у ґрунт, або сировину для одержання біогазу. Використання гичкозбиральних машин та

очисників головок коренеплодів від залишків гички в якості самостійних збиральних модулів дає змогу агрегувати їх із різними типами просапних тракторів. Це викликає необхідність у визначенні відповідності тієї або іншої гичкозбиральної машини та доочисника тягово-енергетичним параметрам агрегатуємих тракторів, що забезпечуватиме високу ефективність використання пропонованих збиральних машинно-тракторних агрегатів. Однак висока ефективність функціонування збирального сільськогосподарського машинно-тракторного агрегату досягається завдяки правильному співвідношенню між його технічними параметрами, режимами експлуатації й зовнішніми виробничими умовами, такими як фізико-механічні властивості ґрунту, нахил поверхні поля, характеристики матеріалу збирання якого проводиться, питомий опір технологічного процесу й іншими конкретними агротехнічними умовами. Тому питання агрегування гичкозбиральних машин й очисників головок коренеплодів від залишків гички з різними типами просапних колісних тракторів є актуальними та потребують відповідного наукового обґрунтування.

Аналіз останніх публікацій. Теоретичне дослідження агрегування сільськогосподарських машин, пов'язане з обов'язковою побудовою розрахункових математичних моделей функціонування різних самохідних і причіпних машинних агрегатів. Ці питання досить докладно представлені у літературі [1–5]. При цьому побудові розрахункових математичних моделей причіпних сільськогосподарських машин, у тому числі, бурякозбиральних, присвячені роботи [6, 7].

Фундаментальна теорія агрегування причіпних і задньонавісних сільськогосподарських машин широко представлена у працях [8–11].

Крім цього, ґрунтовні питання прогнозування ступеня підвищення продуктивності бурякозбиральних машин залежно від питомих капіталовкладень розглянуті в монографії [12]. Однак питання вибору оптимальних параметрів фронтально навішених гичкозбиральних машин і задньоначеплених очисників головок коренеплодів від залишків гички за критеріями потужності агрегованого колісного трактора не розглядалися.

Способи отримання експлуатаційних

характеристик різних машинно-тракторних агрегатів, складених із агрегованих тракторів і навішених попереду та позаду машин і знарядь широко представлені в роботах [13–16].

Отже, ефективність використання агрегованих бурякозбиральних машин слід насамперед оцінювати в складі агрегованого трактора й обґрунтовувати цю ефективність за допомогою кількісних критеріїв, які б відображали з достатнім ступенем точності їхні експлуатаційні властивості й технічну досконалість. До таких критеріїв варто віднести, передусім, продуктивність такого агрегату, мінімум експлуатаційних витрат, питому продуктивність на 1 кВт потужності агрегованого трактора й інші показники ефективності.

Мета досліджень— підвищення ефективності використання комбінованого гичкозбирального агрегату, у складі фронтально навішеної на колісний трактор гичкозбиральної машини і начепленого позаду очисника головок коренеплодів від залишків гички на основі розробки основних положень теорії агрегування з максимальною продуктивністю й мінімальними енергетичними витратами.

Методи досліджень. Під час проведення теоретичних досліджень використовували методи теорії математичного моделювання, теорії трактора, основ машиновикористання в рослинництві, а також складання програм і чисельних розрахунків на ПК.

Результати досліджень. Використання комбінованих гичкозбиральних агрегатів, як самостійних технологічних модулів при збиранні буряку цукрового, дає змогу здійснити їхнє агрегування з різними видами колісних тракторів, обладнаних для цього переднім начіпним пристроєм й переднім валом відбору потужності. Агрегований трактор має бути просапним, тобто обладнаним вузькими шинами, встановленими на відповідну ширину колії, тобто відповідну рядність посівів коренеплодів буряку цукрового. Крім того, гичкозбиральні машини обов'язково повинні бути фронтально навішеними на агрегований енергетичний засіб, а очищувачі головок коренеплодів від залишків гички мають бути задньоначепленими на трактор.

Розроблена нова конструкція комбінованого гичкозбирального агрегату, що здійснює спочатку суцільний безкопирний зріз основної

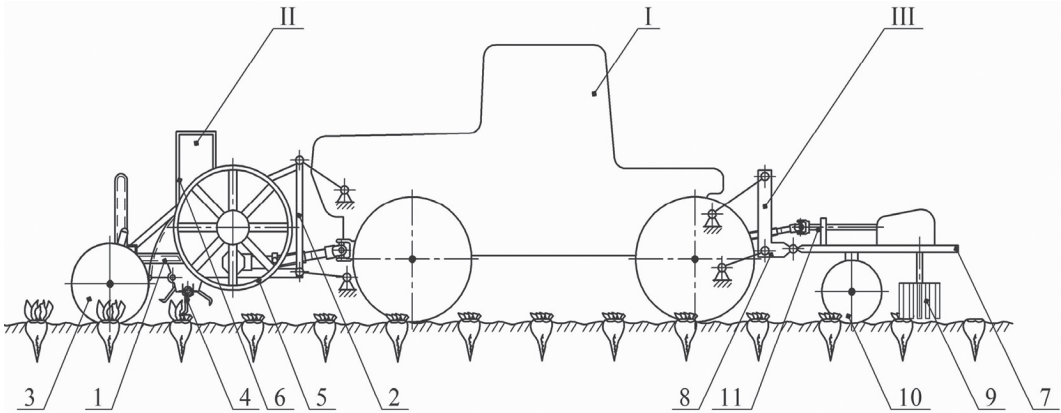


Рис. 1. Комбінований агрегат для збирання гички буряку цукрового: I — трактор; II — фронтально навішена гичкозбиральна машина: 1 — рама; 2 — начіпний пристрій; 3 — копіювальне колесо; 4 — роторний гичкорізальний апарат; 5 — транспортно-подавальний робочий орган; 6 — завантажувальний пристрій; III — очисник головок коренеплодів від залишків гички: 7 — рама; 8 — начіпний пристрій; 9 — очищувальний вал; 10 — копіювальне колесо; 11 — привід

маси гички, навантаження скошеної маси у транспортний засіб, що їде поруч, і яка фронтально навішується на колісний трактор і задньоначепленого очисувача головок коренеплодів від залишків гички (рис. 1). Цей комбінований гичкозбиральний агрегат може бути виготовлений у різному компоновальному виконанні, тобто різної рядності — від 2- до 6-рядного варіантів.

Для розроблення нової теорії ефективного агрегування фронтально навішеної на колісний трактор гичкозбиральної машини і задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички скористаємося спочатку загальновідомими залежностями визначення продуктивності цього комбінованого машинно-тракторного агрегату. Оскільки гичкозбиральна машина й очисник головок коренеплодів є приводними (від переднього та заднього валів відбору потужності трактора), то для визначення їхньої продуктивності слід мати рівняння тягового балансу й рівняння балансу потужності даного гичкозбирального агрегату. У цьому випадку взаємозв'язок між шириною захвата гичкозбиральної машини та очисника й швидкістю руху цього машинно-тракторного агрегату може бути описаний таким виразом [14]:

$$N_e \cdot \xi = \frac{R_a \cdot V_r}{3600 \cdot \eta_t (1 - \delta)} + \frac{N_p \cdot B \cdot V_r \cdot H}{360 \cdot \eta_v}, \text{ кВт}, (1)$$

де N_e — номінальна ефективна потужність двигуна, кВт; ξ — коефіцієнт завантаження двигуна; R_a — тяговий опір фронтально навішеної на трактор гичкозбиральної машини та очисника головок коренеплодів, Н; N_p — питомі загальні витрати (на скошування основного масиву гички та доочищення головок коренеплодів від залишків гички) енергії на виконання технологічного процесу збирання гички буряку цукрового, кВт·с·кг⁻¹; H — урожайність гички буряку цукрового, ц·га⁻¹; η_t — коефіцієнт корисної дії трансмісії колісного агрегатованого трактора; η_v — коефіцієнт корисної дії переднього і заднього валів відбору потужності трактора; δ — буксування колісного трактора.

Визначимо складові, які входять в аналітичний вираз (1). Тяговий опір R_a фронтально навішеної на трактор гичкозбиральної машини та задньонавішеного очисника може бути визначений за допомогою такого виразу:

$$R_a = R_i + R_f + R_{top}, \text{ Н}, (2)$$

де R_i , R_f — опір колісного агрегатованого трактора на підйом і перекошування, Н; R_{top} — тяговий опір гичкозбиральної машини й очисника головок коренеплодів під час виконання технологічного процесу збирання гички буряку цукрового, Н.

Оскільки в рівнянні тягового балансу (1) добуток $N_e \cdot \xi$ чисельно дорівнює русійній силі

колісного агрегатованого трактора, що забезпечує подолання ним усіх сил опору, які діють на цей комбінований гичкозбиральний агрегат, то складові, які входять у вираз (2), можна визначити за допомогою таких залежностей:

$$R_i = mg \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

$$R_f = mg \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

$$R_{\text{top}} = k \cdot B, \quad (5)$$

де α — кут підйому, рад.; m — маса колісного агрегатованого трактора, кг; g — прискорення вільного падіння, $m \cdot (c^2)^{-1}$; f — коефіцієнт опору перекочуванню колісного агрегатованого трактора; k — питомий опір фронтально навішеної гичкозбиральної машини й очисника головок коренеплодів від залишків гички, $H \cdot m^{-1}$.

Коефіцієнт f опору перекочуванню колісного агрегатованого трактора враховує як усі корисні технологічні деформації, що здійснюються при збиранні гички буряку цукрового, так і опір пересуванню фронтально навішеної гичкозбиральної машини та задньоначепленого очисника уздовж напрямку руху. При малих кутах α величина $\sin \alpha \times 100$ являє собою відсоток підйому i .

На підставі використання виразів (2) і (3), (4) і (5) рівняння (1) балансу потужності колісного агрегатованого трактора можна представити в такому вигляді:

$$N_e \cdot \xi = V_r \left(\frac{(kB + mg \cdot \psi) \eta_v}{3600 \cdot \eta_t \eta_v (1 - \delta)} + \frac{10N_p B \cdot H \eta_t (1 - \delta)}{3600 \cdot \eta_t \eta_v (1 - \delta)} \right), \quad (6)$$

де ψ — коефіцієнт опору пересуванню колісного агрегатованого трактора.

У загальному вигляді коефіцієнт ψ опору пересуванню колісного трактора можна представити такою залежністю:

$$\psi = \sin \alpha + f \cos \alpha, \quad (7)$$

де α — кут підйому, рад.; f — коефіцієнт опору перекочуванню трактора.

Якщо вирішити рівняння (6) балансу потужності колісного агрегатованого трактора відносно V_r , то можна визначити значення швидкості пересування цього комбінованого гичкозбирального агрегату по полю:

$$V_r = 3600 \cdot \xi \cdot N_e \eta_t \eta_v \times \frac{(1 - \delta)}{(kB + mg \psi) \eta_v + 10N_p B \cdot H \eta_t (1 - \delta)}, \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}. \quad (8)$$

В аналітичному виразі (8) для визначення швидкості V_r пересування колісного агрегатованого трактора із фронтально навішеною на нього гичкозбиральною машиною і задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички, що необхідна для визначення продуктивності даного збирального машинно-тракторного агрегату коефіцієнти ξ , η_t і η_v можна вважати заданими.

Буксування δ машинно-тракторного агрегату слід визначити на підставі використання різних емпіричних формул і на підставі побудови кривої буксування колісного трактора. У цьому випадку для визначення буксування δ скористаємося відомою залежністю, що має такий вигляд [14]:

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

де φ — коефіцієнт використання зчпної ваги; φ_m — коефіцієнт зчеплення; a , b — постійні коефіцієнти, які залежать від типу колісного агрегатованого трактора й агрофону, на якому здійснюється збирання гички буряку цукрового.

У вираженні (9) залежність буксування δ від коефіцієнта використання зчпної ваги φ задана в неявній формі, що утруднює проведення чисельних розрахунків. Для приведення вираження (9) до більш зручного вигляду виконаємо деякі алгебраїчні перетворення, на підставі яких отримаємо вираз для визначення буксування δ у такому вигляді:

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

Далі коефіцієнт φ зчпної ваги агрегатованого трактора, що входить у вираз (10) визначимо за допомогою такого аналітичного виразу:

$$\varphi = (mg \cdot \psi + kB)(\lambda \cdot mg)^{-1}, \quad (11)$$

де λ — коефіцієнт зчпної ваги трактора.

Таким чином, є всі підстави вважати, що у виразі (8) всі вхідні в нього величини є заданими. Потім для визначення продуктивності цього комбінованого гичкозбирального агрегату треба скористатися відомою з курсу експлуатації машинно-тракторного парку залежністю [15]:

$$W = 0,1B \cdot V_r, \text{ га} \cdot \text{год}^{-1}, \quad (12)$$

де B — робоча ширина захвата фронтально навішеної на колісний трактор гичкозбиральної машини і задньоначепленого

очисника головок коренеплодів, м; V_r — поступальна швидкість руху комбінованого агрегату, км·год⁻¹.

Підставивши у вираз (12) всі визначені раніше залежності остаточно одержуємо значення продуктивності комбінованого збирального машинно-тракторного агрегату, що складається з колісного агрегатованого трактора, фронтально навішеної гичкозбиральної машини і задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички:

$$W = 0,1B(3600 \cdot \xi \cdot N_e \eta_t \eta_v \times \frac{[1 - \delta]}{(kV + mg\psi) \eta_v + 10N_p B \cdot H \eta_t [1 - \delta]}) \quad (13)$$

Отриманий вираз (13) і є математичною моделлю агрегування гичкозбиральної машини, фронтально навішеної на колісний трактор і задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички. Використовуючи вираз (13) маємо можливість визначити продуктивність цього машинно-тракторного агрегату, залежно від вихідних параметрів того або іншого трактора й гичкозбиральних машин і очисників різної рядності й компонування.

На підставі розробленої програми чисельних розрахунків на ПК у системі Mathcad нами були проведені розрахунки цієї математичної моделі й побудовані відповідні графіки (рис. 2–4).

Під час виконання чисельних розрахунків було враховано агротехнічні вимоги, що стосуються обмеження на швидкість поступального руху гичкозбиральної машини й очисника головок коренеплодів від залишків гички, що повинна перебувати в такому інтервалі $1,5 \leq V_r \leq 4,0$, м·с⁻¹, а також обмеження, що стосуються зчеплення рушіїв агрегатованого колісного трактора з ґрунтом, при його русі по буряковому полю. У цьому випадку це обмеження має такий вигляд:

$$\varphi < \varphi_m \quad (14)$$

Для заданого агротехнічного фону проведено розрахунки для кількох типів колісних агрегатованих просапних тракторів, з якими можлива ефективна експлуатація фронтально навішеної гичкозбиральної машини і задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички. Варто також підкреслити, що під час виконання чисельних розрахунків

нами враховувалася та обставина, що кожний тип колісного просапного агрегатованого трактора відповідного тягового класу має свою масу m , потужність двигуна N_e , коефіцієнт λ . Значення коефіцієнтів φ_m , a і b приймалися конкретно для агрофону на якому експлуатується гичкозбиральна машина і очисник головок коренеплодів. Крім цього, для кожного варіанта чисельних розрахунків були задані врожайність гички буряку цукрового H , питомі витрати на виконання усього технологічного процесу N_p , максимальний відсоток підйому і схилів бурякового поля, коефіцієнт опору пересування трактора f , коефіцієнт корисної дії валів відбору потужностей трактора η_v . Коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора η_t був прийнятий для колісних тракторів, рівним $\eta_t = 0,92$. Питомий опір k фронтально навішеної гичкозбиральної машини і задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички задавався для різних їх рядностей й змінювався для кожного типу колісного трактора в межах від 2100 до 3500 Н·м⁻¹. Зміна ширини B захвату фронтально навішеної на трактор гичкозбиральної машини і задньоначепленого очисника головок коренеплодів здійснюється в межах від 0,90 м до 2,7 м, із кроком 0,45 м, тобто від 2- до 6-рядного варіантів.

Для кожного варіанта чисельних розрахунків в якості результату визначався питомий опір для кожної гичкозбиральної машини і очисника головок коренеплодів відповідної ширини захвата й відповідну їм швидкість V_r руху даного комбінованого машинно-тракторного агрегату, його продуктивність W , тяговий опір агрегату R_a , коефіцієнт використання зчепної ваги φ й буксування δ .

Проведення обчислень складеної математичної моделі здійснено з використанням заданих конкретних (усереднених) значень параметрів. Під час розрахунків було прийнято: урожайність гички буряку цукрового — $H=150$ ц·га⁻¹; питомі витрати енергії на виконання технологічного процесу збирання гички буряку цукрового — $N_p=2,7$ кВт·с·кг⁻¹; коефіцієнти — $\zeta=0,90$; $\eta_v=0,95$; $f=0,07$; також припускається, що на буряковому полі трапляються підйоми не більше 5%; питомий опір фронтально навішеної гичкозбиральної машини і задньоначепленого очисника головок коренеплодів від залишків гички в складі

колісного агреатованого трактора (середнє його значення) $k=2100...3500 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$ (крок зміни питомого опору $\Delta k=200 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$). Технічні характеристики, універсально-просапних та інтегральних колісних тракторів, з якими можна агрегатувати фронтально навішену гичкозбиральну машину і задньоначеплений очисник головок коренеплодів від залишків гички, наведено згідно даних [14] у таблиці.

Для заданих вхідних параметрів розглянутої системи, що вирішувалася на ПК були виконані чисельні розрахунки, за результатами яких побудовані графіки, представлені на рис. 2–4.

З отриманих залежностей (рис. 2) бачимо, що ефективна експлуатація гичкозбирального агрегату на базі колісного трактора тягового класу 0,9 можлива лише у разі використання 2-, 3- та 4-рядних машин знярядь. У разі комплектування 6-рядного агрегату, його експлуатація буде можлива лише за низьких значень питомого опору, в діапазоні від 2100 до 2400 $\text{Н}\cdot\text{м}^{-1}$.

Як бачимо з отриманих залежностей (рис. 3), для трактора тягового класу 1,4 спостерігається більш висока продуктивність, ніж у трактора тягового класу 0,9 у разі комплектування 2-, 3- та 4-рядних гичкозбиральних агрегатів. У разі використання 6-рядних машин знярядь діапазон можливих для експлуатації значень питомого опору становить $k=2100...3200 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}$.

Чисельне моделювання (рис. 4) параметрів комбінованого гичкозбирального агрегату на базі колісного трактора тягового класу 3

Технічні характеристики універсально-просапних тракторів

Тяговий клас трактора, призначення	mg, кг	N _е , кВт	φ _m	a	b
0,9 універсально-просапний, колісний	3000	36,8	0,6	0,75	8,81
1,4 універсально-просапний, колісний	3810	58,9	0,6	0,75	8,81
3 інтегральний, просапний, колісний	8200	117,7	0,65	0,753	9,52

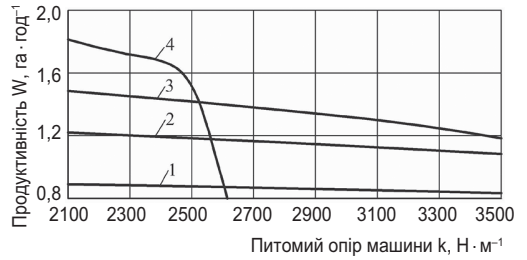


Рис. 2. Залежність продуктивності W комбінованого гичкозбирального агрегату у складі колісного агреатованого трактора тягового класу 0,9 від її питомого опору k за різної ширини її захвату: 1 – $B=0,9$ (2-рядний варіант); 2 – $B=1,35$ (3-рядний варіант); 3 – $B=1,8$ м (4-рядний варіант); 4 – $B=2,7$ м (6-рядний варіант)

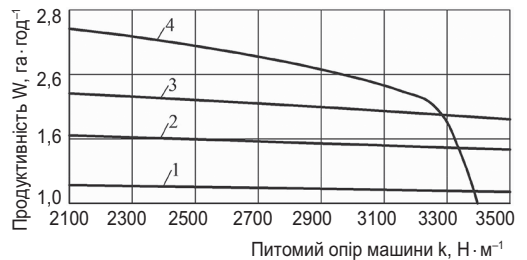


Рис. 3. Залежність продуктивності W комбінованого гичкозбирального агрегату у складі колісного агреатованого трактора тягового класу 1,4 від її питомого опору k за різної ширини її захвату: 1 – $B=0,9$ (2-рядний варіант); 2 – $B=1,35$ (3-рядний варіант); 3 – $B=1,8$ м (4-рядний варіант); 4 – $B=2,7$ м (6-рядний варіант)

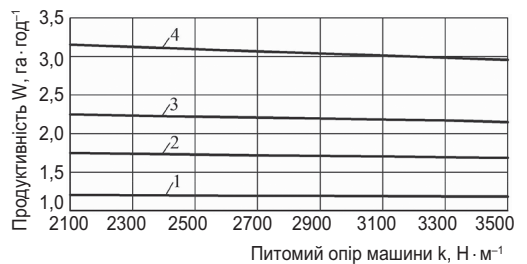


Рис. 4. Залежність продуктивності W комбінованого гичкозбирального агрегату у складі колісного агреатованого трактора тягового класу 3 від її питомого опору k за різної ширини її захвату: 1 – $B=0,9$ (2-рядний варіант); 2 – $B=1,35$ (3-рядний варіант); 3 – $B=1,8$ м (4-рядний варіант); 4 – $B=2,7$ м (6-рядний варіант)

показало, що він забезпечує найбільшу продуктивність при комплектуванні комбінованих гичкозбиральних агрегатів у всьому

діапазоні змін питомого тягового опору та ширини захвату завдяки своїм тягово-зчіпним властивостям.

Висновки

Побудована нова математична модель ефективного агрегування фронтально навішених на колісні агреговані трактори гичкозбиральних машин та задньоначеплені очисники головок коренеплодів від залишків гички, що описує умови ефективного агрегування та дає можливість визначити роботу швидкість і продуктивність різних комбінованих машинно-тракторних агрегатів.

У результаті чисельного моделювання на ПК становлено, що інтегрально-просапний колісний трактор класу 3 забезпечує найбільшу продуктивність під час використання комбінованих гичкозбиральних агрегатів для всього діапазону ширини захвату та у всьому діапазоні змін питомого тягового опору, а завдяки запасу потужності залишається можливість застосування

додаткових приводних пристроїв, наприклад коренезбиральних машин.

Моделювання продуктивності комбінованих агрегатів на базі колісних тракторів класу 0,9 та 1,4 показало, що вони здатні забезпечувати достатню й стійку продуктивність лише при агрегуванні 3- або 4-рядних машин, а використання 6-рядного агрегату можливе лише для трактора класу 1,4 за малої врожайності та достатньо низьких значеннях питомого опору.

Аналітичне дослідження, а також розроблена програма чисельного моделювання на ПК дають можливість визначити оптимальні параметри не лише цього комбінованого гичкозбирального агрегату, а й інших агрегатів за критеріями продуктивності й енергоємності.

Бібліографія

1. Василенко П.М. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов): учеб. пособ./П.М. Василенко, В.П. Василенко. — К.: УСХА, 1980. — 137 с.
2. Василенко П.М. Об уравнениях движения мобильных машинных агрегатов/П.М. Василенко// Сб. трудов по земледельческой механике. Т. II. — М.: Сельхозгиз, 1952. — С. 76–84.
3. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий/П.М. Василенко// Там же. — 1954. — С. 202–211.
4. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику/П.М. Василенко. — К.: Сельхозобразование, 1996. — 252 с.
5. Василенко П.М. Уравнение движения самоходных машинных агрегатов при трогании с места и разгоне/П.М. Василенко, В.Г. Кузьминский// ВАСХНИЛ. Земледельческая механика. Т. V. Сб. трудов под ред. В.А. Желиговского. — М.: Машиностроение, 1965. — С. 28–43.
6. Булгаков В.М. Методика построения расчетной модели функционирования самоходной корнеуборочной машины/В.М. Булгаков. — М.: Доклады ВАСХНИЛ, 1980. — № 7. — С. 27–29.
7. Гуськов В.В. Тракторы. Теория/В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.
8. Тимофеев А.И. Анализ энергетического режима работы тракторного агрегата при разгоне/А.И. Тимофеев// ВАСХНИЛ. Земледельческая механика. Т. V. Сб. трудов; под ред. В.А. Желиговского. — М.: Машиностроение, 1965. — С. 391–405.
9. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства/Г.М. Кутьков. — М.: Колос, 2004. — 504 с.
10. Надикто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств: монография/В.Т. Надикто. — Мелитополь: КП «ММД», 2003. — 240 с.
11. Погорельый Л.В. Индустриализация агропромышленного комплекса/Л.В. Погорельый. — К.: Техника, 1984. — 200 с.
12. Киртбая Ю.К. Резервы использования машинно-тракторного парка/Ю.К. Киртбая. — М.: Колос, 1982. — 319 с.
13. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка; под ред. Н.Э. Фере. — Изд. 2-е. — М.: Колос, 1978. — 256 с.
14. Довідник з машинвикористання в землеробстві; за ред. В.І. Пастухова. — Х.: Веста, 2001. — 347 с.
15. Бендера І.М. Експлуатація машин і обладнання/І.М. Бендера та ін. — Поділ. держ. аграрно-техн. ун-т. — Кам'янець-Подільський. — Сисин О.В.: Абетка, 2013. — 576 с.

Надійшла 20.02.2017.