



## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ МОБІЛЬНИХ ГРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ**

Артёмов М.П., к.т.н.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка*

Тел. (057) 700-38-93

**Анотація** - проведено визначення оптимальних параметрів агрегату для забезпечення функціональної стабільності мобільних ґрунтообробних сільськогосподарських машин за допомогою розробленого методу парціальних прискорень.

**Ключові слова** - парціальні прискорення, мобільний ґрунтообробний агрегат, вимірювальний комплекс.

*Постановка проблеми.* Режими роботи ґрунтообробного агрегату, як механічної системи, залежать від багатьох взаємопов'язаних параметрів. Тому завдання певного режиму роботи зводиться до вибору раціональних початкових параметрів. Встановлення їх є початковим етапом підготовки агрегату до виконання агротехнічних операцій. Все різноманіття технологічних вимог, що пред'являються до машинно-тракторних агрегатів (МТА) можна виразити наступними узагальненими показниками: продуктивністю і агротехнічною якістю виконаної операції при низькій питомій собівартості робіт.

На сучасному етапі землеробства найбільш ефективним для обробки ґрунту, вважається використання агрегатів, до складу яких входять енергонасичені трактори та комбіновані ґрунтообробні машини з великою шириною захвату. В процесі використання таких мобільних ґрунтообробних агрегатів зростає швидкість руху, енергонасиченість вузлів і динамічні навантаження на робочі органи. Використання в землеробстві таких машинно-тракторних агрегатів (МТА) вимагає поглиблених досліджень щодо впливу різноманітних факторів на динаміку комбінованого ґрунтообробного машинно-тракторного агрегату.

*Аналіз останніх досліджень.* В процесі роботи сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів (МТА) на енергетичну і технологічну частину діють сили, які постійно змінюються і пов'язані з

переміщеннями, чи з швидкостями точок, де були прикладені ці сили.

Від зовнішніх збурюючих чинників і технічного стану сільськогосподарських агрегатів та енергетичного засобу у більшості випадків відбувається зміна динамічних навантажень.

Для розрахунку сил, що діють на механічну систему, часто застосовувався дослідниками принцип Германа-Д'Аламбера-Ейлера[1], відомого у механіці як принцип кінетостатики, або принцип квазістатичної рівноваги.

Представлені раніше дослідниками засоби експериментальних досліджень руху МТА і теоретичні методи дозволили отримати інформацію щодо поведінки агрегату, його функціонування під час виконання технологічних операцій в нормальних умовах експлуатації. Вирішенню задач динаміки сільськогосподарських агрегатів приділили багато уваги Василенко П.М., Погорілий Л.В., Заїка П.М. Кутьков Г.М., Рославцев А.В., Надикто В.Т., Гячев Л.В. [2,3,4,5] та ін. Кожен з них вирішував окрему задачу динаміки, а в цілому було зроблено великий вклад в теоретичне обґрунтування комплектації та ефективної роботи агрегатів. Було розроблено і запропоновано для розгляду динамічні моделі МТА, що забезпечили вирішення багатьох задач, пов'язаних з впливом окремих елементів агрегату на показники його руху.

Кожна окрема задача, що розв'язується, повинна бути органічною складовою всієї наукової проблеми, яка комплексно охоплює теорію всього технологічного процесу.

Згідно В.П. Горячкіну, в механічному обробітку ґрунту, як у довільному технологічному процесі обробки, необхідно враховувати основні три елементи: джерело енергії, машину (знаряддя) і матеріал, який обробляється – ґрунт. Ґрунт, як матеріал, має певні технологічні властивості, до яких відносять: міцність, фрикційні властивості, липкість, пластичність, пружність і крихкість. Знання цих властивостей ґрунту дозволяє знайти шляхи і методи зменшення енергоємності його механічного обробітку і більш ефективного використання ґрунтообробних агрегатів. Усі властивості ґрунту, за винятком його механічного складу, схильні до значних змін, які обумовлені погодними умовами, зміною культур сівозміни, внесенням у ґрунт мінеральних і органічних добрив, а також видом обробітку ґрунту. Несталість властивостей ґрунту в межах оброблюваного поля негативно позначається на роботі трактора, усталеності ходу ґрунтообробної машини і якості виконання агротехнічних операцій.

На сучасному етапі досліджень все більше уваги звертається на необхідність встановлення співвідношень між діючими на МТА силами, з одного боку, їх масою, швидкостями і режимами роботи – з іншого [4]. Як з'ясується всі дослідження проводяться заради того, щоб знайти оптимальне співвідношення між механічними параметра-

ми машин в агрегаті та швидкісними режимами роботи.

*Формулювання мети статті.* У роботі запропоновано звернути особливу увагу на розрахунок і взаємодію складових МТА, зважаючи на те, що зв'язок між ними здійснюється через ґрунт.

Вирішення проблеми використання мобільних сільськогосподарських агрегатів у процесі їх експлуатації необхідно розглядати через:

- розробку простих і доступних методів, що дозволяють в процесі експлуатації підвищити реалізацію експлуатаційних властивостей МТА, вести контроль за ефективністю витрат палива та енергії безпосередньо під час виконання МТА технологічних операцій;

- розвитку методів аналітичного розрахунку і прогнозування закономірностей формування оціночних показників ефективності функціонування, як в цілому МТА, так і його складових елементів.

*Основна частина.* Динамічні властивості виявляються під час розгону, або гальмування МТА і у випадках, коли ґрунтообробний агрегат рухається на прямолінійній ділянці, або виконує маневр згідно агротехнічних вимог. Причиною широкого варіювання тягового зусилля та сил опору є також різна щільність ґрунту (особливо сухого, який має тріщини). Різниця в щільності ґрунту в різних точках поля спричинена впливом на нього у вологому стані рушіїв тракторів і машин при їхньому переміщенні полем під час сівби, доглядом за посівами, збиранням і транспортуванням урожаю. З досвіду виходить, що короточасні максимальні значення тягового опору корпусу плуга перевищують його середні значення приблизно у 2 рази.

Рух ґрунтообробного машинно-тракторного агрегату, як механічної системи, є визначеним, якщо відомі сили, що на нього впливають і початкові умови руху. Однак між тим в реальних умовах поряд з основними факторами завжди існують додаткові випадкові збурюючі сили, які виводять систему із стану усталеного руху. Існують два різновиди сталого руху механічних систем (до яких ми відносимо сільськогосподарські МТА). У першому з них початкові збурення у продовж певного часу асимптотично зменшуються до нуля і зникають; у цьому випадку рух МТА є асимптотично сталим. У другому випадку збурення, залишаючись малим, повністю не зникає, така сталість визначається, як не асимптотична [5].

Існуючі методи розрахунку не дозволяють з необхідною точністю визначити оптимальні параметри використання мобільних сільськогосподарських агрегатів. Проблема обґрунтування оптимальних режимів роботи і параметрів машинно-тракторних агрегатів має велике значення. Різноманіття ґрунтів і велика кількість інших факторів ускладнюють вирішення цієї задачі. Задовольнити високі вимоги агротехніки можливо тільки ретельно проаналізувавши режими руху мобільних сільськогосподарських агрегатів. Від обраного режиму ру-

ху, способу керування залежить тривалість перехідного процесу і всього терміну виконання операції, що позначається на продуктивності і урожайності сільськогосподарської культури.

Особливі труднощі при проведенні випробувань сільськогосподарської техніки виникають з вимірюваннями таких параметрів, як тягове зусилля, швидкість руху, зусилля на кріюку, потужність двигуна і тягового ККД. Також певний інтерес в процесі руху мобільних агрегатів викликають лінійна та кутова швидкості, сили опору руху та ін..

Метод парціальних прискорень, що пропонується, побудований на зворотному переході від векторної суми у просторі сил до векторної суми у просторі прискорень. В основі метода лежить принцип суперпозиції в механіці. Якщо принцип Д'Аламбера зручно використовувати в теоретичних дослідженнях, то метод парціальних прискорень – в процесі проведення експериментальних досліджень та подальшій обробці їх результатів і узагальнень [8].

Парціальне (від старо латинської *partialis* – частковий), тобто прискорення, яке мала б машина під дією однієї сили, яка прикладена в цей час до неї за відсутності всіх інших сил. Загальне прискорення мобільної машини дорівнює сумі прискорень, які вона отримує від дії усіх сил, що виводять її з одного стану рівноваги до іншого. Прискорення, яке отримує машина від дії сил, означає початок перехідного процесу і є показником динамічних властивостей.

За допомогою вимірювального комплексу в процесі випробувань отримано експериментальні значення прискорення МТА (рис.1).

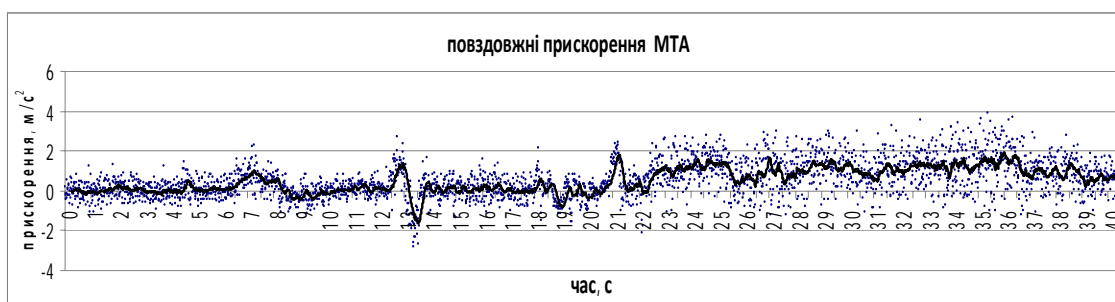


Рис.1. Графік зміни прискорення при роботі машинно-тракторного агрегату.

Алгоритм розрахунку потужності двигуна мобільної машини під час її руху без попереднього визначення параметрів при вибігу (рух накатом). Деякі необхідні параметри вимірюються в процесі вибігу, а частину з необхідних для розрахунку необхідно вводити в процесі руху за рахунок установки додаткових датчиків. Відзначених проблем можна уникнути у випадку, коли прийняти допущення що, з малим інтервалом часу  $\Delta t$  і невеликій кількості інтервалів часу, потужність, що розвивається двигуном, залишається постійною  $N_e \approx const$ . Необхідна потуж-

ність ( $N_e$ ) на подолання сил опору та забезпечення виходу на усталений режим і роботу в цьому режимі, є результативною величиною  $N_e = f(N_T)$  та є можливість її записати у вигляді

$$N_e = N_T + \sum N_0, \tag{1}$$

де  $N_T$  - тягова потужність кВт;

$\sum N_0$  - сума втрат потужності на подолання різноманітних опорів, кВт.

Для розрахунку динамічних показників необхідно звернути увагу на показники, що змінюються як функція від швидкості, а зміна швидкості (рис.2) є реакція механічної системи на дію внутрішніх і зовнішніх сил і моментів.

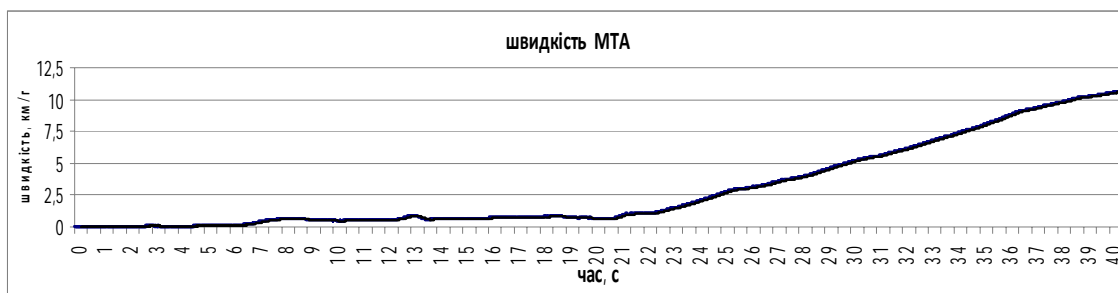


Рис. 2. Графік зміни швидкості в процесі виходу МТА в усталений режим.

Вираз за допомогою якого можливо визначити потужність запишемо у вигляді

$$N_e = \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} V_T + k_1 V_T^2 + \frac{J_{PP}}{r_D^2} \dot{V}_T V_T + m g f + m_T \dot{V}_T V_T + F(V_T) V_T, \tag{2}$$

де  $\frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} V_T$  - потужність приведена до осі ведучого колеса;

$k_1 V_T^2$  - втрати потужності у гідравлічному приводі;

$\frac{J_{PP}}{r_D^2} \dot{V}_T V_T$  - приведений момент інерції;

$m_T g f$  - сила опору на переміщення мобільного агрегату;

$m_T \dot{V}_T V_T$  - потужність необхідна на переміщення мобільної машини;

$F(V_T) V_T$  - сила опору сільськогосподарського знаряддя, функція від швидкості.

Проведемо перегрупування та необхідні перетворення

$$N_e = \left( \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} + m_T g f \right) V_T + \dot{V}_T V_T m_T \left( 1 + \frac{J_{PP}}{r_D^2} \right) + k_1 V_T^2 + F(V_T) V_T. \quad (3)$$

Для визначення навантажень, які діють в процесі роботи мобільного сільськогосподарського агрегату, складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} N_e = A_1 V_{T1} + A_2 \dot{V}_{T1} V_{T1} + A_3 V_{T1}^2 + F(V_{T1}) V_{T1} \\ N_e = A_1 V_{T2} + A_2 \dot{V}_{T2} V_{T2} + A_3 V_{T2}^2 + F(V_{T2}) V_{T2} . \\ N_e = A_1 V_{T3} + A_2 \dot{V}_{T3} V_{T3} + A_3 V_{T3}^2 + F(V_{T3}) V_{T3} \end{cases} \quad (4)$$

Визначення коефіцієнтів  $A_1; A_2; A_3$ ; під час експлуатації мобільного енергетичного засобу і збереження їх у пам'яті бортового комп'ютера дозволить надати оцінку технічному стану і надати рекомендації стосовно технічного обслуговування і ремонту.

$$\left( \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} + m_T g f \right) - A_1; \quad m_T \left( 1 + \frac{J_{PP}}{m_T r_D^2} \right) - A_2; \quad k_1 - A_3.$$

Вирішуючи системи лінійних алгебраїчних рівнянь стосовно до невідомих  $N_e; A_1; A_2; A_3$ ;, отримаємо необхідний результат. Вказані коефіцієнти визначаються залежностями

$$A_1 = \left( \frac{M_{TP}^{CT}}{r_D} + m_T g f \right) - \text{приведена статична сила опору обертанню}$$

коліс;

$$A_2 = m_T \left( 1 + \frac{J_{PP}}{m_T r_D^2} \right) - \text{приведена маса трактора};$$

$$A_3 = k_1 - \text{приведений показник в'язкого тертя в трансмісії}.$$

Для складання і вирішення системи рівнянь (3) розмір кроку розрахунку часу  $\Delta t$  і інтервалу часу  $[t_0; 3\Delta t]$  обирається з умов забезпечення необхідної точності розрахунку.

Проведемо перетворення, розділивши обидві частини рівняння на  $N_e$ , та запишемо рівняння балансу

$$\begin{cases} A_1 V_{T1} + A_2 \dot{V}_{T1} V_{T1} + A_3 V_{T1}^2 + F(V_{T1}) V_{T1} - 1 = 0 \\ A_1 V_{T2} + A_2 \dot{V}_{T2} V_{T2} + A_3 V_{T2}^2 + F(V_{T2}) V_{T2} - 1 = 0 . \\ A_1 V_{T3} + A_2 \dot{V}_{T3} V_{T3} + A_3 V_{T3}^2 + F(V_{T3}) V_{T3} - 1 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Скористаємось методом Гауса і проведемо перетворення для розрахунку параметрів машинно-тракторного агрегату.

Такий розрахунок дає можливість визначити основні показники динамічних навантажень у випадках, якщо відомі сили опору сільськогосподарського знаряддя  $F(V_T)$  в залежності від швидкості.



Рис.3. Графік необхідної потужності двигуна на переміщення агрегату.

Для проведення розрахунків необхідно ідентифікувати хоча б один з визначених коефіцієнтів  $A_1; A_2; A_3$ .

У статті наведені графіки побудовані на основі експериментальних даних роботи МТА у складі трактора ЮМЗ-6КЛ та культиватора КПС-4.

*Висновки.* Динамічні властивості МТА інтенсивно проявляються під час перехідних процесів: зміни швидкості руху, зміни сили опору сільськогосподарського знаряддя, потужності, яку розвиває двигун, і в залежності від цього відбувається зміна ефективності роботи. Оцінку технічного стану МТА і можливості його подальшого використання можна надати за двома показниками, що впливають на функціональну стабільність: інтенсивністю зміни швидкості, зміною ефективної потужності двигуна, яка використовується на переміщення агрегату.

#### Література

1. *Тарг С.М.* Краткий курс теоретической механики / *С.М. Тарг.* – М.: Наука, 1968. – 480 с.
2. *Горячкин В.П.* Собрание сочинений. Т.2. / *В.П. Горячкин* – М.: Колос, 1968. – 240с.
3. *Василенко П.М.* Универсальные математические модели функционирования машинных агрегатов и их применение / *П.М. Василенко.* – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 14с.
4. *Надикто В.Т.* Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві : навчальний посібник / *В.Т. Надикто, М.Л. Крижачківський, В.М. Кюрчев, С.Л. Абдула.* - Мелітополь. 2005. – 338с.

5. *Заїка П.М.* Теорія сільськогосподарських машин Т.1, Частина 1./ *П.М.Заїка* – Харків. Вид-во Око, 2001. – 444с.
6. *Гячев Л.В.* Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и агрегатов / *Л.В.Гячев* – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.
7. *Завалишин Ф.С., Мацнев М.Г.* Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / *Ф.С.Завалишин, М.Г.Мацнев* – М.: Колос, 1982. – 231с.
8. *Артемов Н.П.* Метод парциальных ускорений при исследовании динамики мобильных машин / *Н.П.Артемов, А.Т.Лебедев, О.П.Алексеев, В.П.Волков, М.А. Подригало, А.С.Полянский* // Тракторы и сельхозмашины, 2011. - №1. – с.16 – 18.
9. Пат. 54188 МПК (2009) G01L5/13. Спосіб визначення та обмеження динамічних навантажень при роботі тракторного агрегату: Пат. Україна МПК (2009) G01L5/13. *А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, О.С. Полянський, М.П. Артемов, Є.О. Дубінін, О.Г. Хворост, В.В. Задорожня, О.В. Кот.* – № 201006298; заявл. 25.05.2010; Опубл. 25.10.2010; Бюл. № 20.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ**

Артемов Н.П.

*Аннотация* – в работе проведен расчет оптимальных параметров агрегата для обеспечения функциональной стабильности мобильных почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин с помощью разработанного метода парциальных ускорений

## **DETERMINING OPTIMAL PARAMETERS FOR PROVIDING FUNCTIONAL STABILITY OF MOBILE TILLAGE UNITS**

N. Artiomov

### *Summary*

**It has been calculated optimal parameters of a unit for providing functional stability of mobile tillage machines by means of the developed partial acceleration method.**