

УДК 631.3 – 182

Ловейкін В., д-р техн. наук, професор, Човнюк Ю., канд. техн. наук, доцент (Національний університет біоресурсів і природокористування України), Дяченко Л., канд. техн. наук (ВП НУБіПУ «Ніжинський агротехнічний інститут»)

## Аналіз закономірностей режимів переміщення машинно-тракторних агрегатів із врахуванням рельєфу поля

*Зроблено уточнений аналіз закономірностей режимів переміщення машинно-тракторних агрегатів із врахуванням рельєфу поля. Встановлено умови й обчислено аналітичним шляхом швидкість руху, за якої врівноважені сумарна сила опору та рушійна сила машинно-тракторного агрегату, відсутні прискорення останнього, а кінематичні характеристики режиму переміщення залежать від профілю рельєфу поля.*

**Ключові слова:** аналіз, закономірності, режими переміщення, машинно-тракторний агрегат, рельєф поля.

**Суть проблеми.** Зазвичай процес комплектування машинно-тракторних агрегатів (МТА) здійснюється, виходячи з умови забезпечення оптимального завантаження робочими машинами мобільних енергетичних засобів. Для оптимізації застосовують певний рівень завантаження двигуна, але при цьому нехтують особливостями швидкісного руху МТА. Останній показник оператор МТА обирає індивідуально, виходячи з власного досвіду та кваліфікації. Зрозуміло, що у такому випадку витрати енергії під час виконання конкретної технологічної операції з використання цього МТА можуть бути суттєво більшими, ніж необхідні для виконання процесу на якісному рівні (з дотриманням відповідних агротехнічних вимог). Особливо зростають витрати енергії під час виконання технологічних операцій

на полях, які мають виражений рельєф (наприклад, знакозмінний кут нахилу поверхні поля у вертикально-поздовжній площині). Звідси стає зрозумілим, що аналіз закономірностей режимів переміщення МТА із врахуванням рельєфу поля є необхідним, оскільки саме він дозволяє відшукати оптимальні траєкторії руху МТА (та його кінематичні характеристики) в таких специфічних умовах його функціонування.

**Аналіз останніх публікацій на тему дослідження.** Аналіз публікацій, присвячених розвитку МТА [1, 2] показує, що на сучасному етапі вчені, дослідники, інженери-конструктори головним чином приділяють увагу вдосконаленню існуючих енергетичних засобів, підвищенню їх потужності, що забезпечує надійну роботу технологічних машин. Проте подібні підходи

призводять і до негативних наслідків: а) зростає експлуатаційна маса МТА; б) збільшуються енергетичні витрати на виконання технологічного процесу.

Автори [3] одним з основних резервів зниження витрат енергії вважають оптимізацію швидкісного режиму руху МТА із врахуванням рельєфу поля у вертикально-поздовжній площині. Слід зазначити, що остання робота має суттєві недоліки в обґрунтуванні оптимальних швидкісних режимів переміщення МТА із врахуванням особливостей рельєфу поля. Тому, на думку авторів цієї роботи, слід зробити уточнений аналіз швидкісних режимів руху МТА, у якому будуть науково обґрунтовані та враховані особливості рельєфу поля.

**Мета роботи** – встановити основні закономірності і кінематичні характеристики швидкісного режиму руху МТА з урахуванням рельєфу поля.

**Виклад основного змісту дослідження.** Розглянемо динаміку переміщення МТА по полю за схемою [3], яка враховує профіль поля та всі сили, що діють на агрегат (рис. 1).

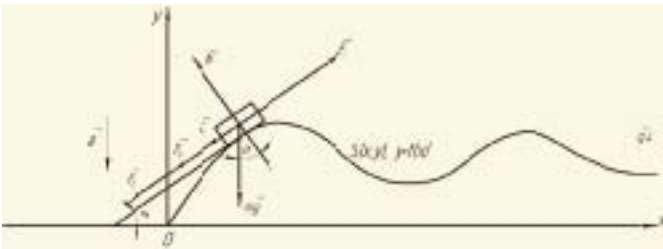


Рис. 1 – Схема для виведення рівняння руху МТА [3]

Рівняння руху МТА у проекції на натуральні осі координат (тобто на траєкторію руху по полю) має вигляд [3]:

$$m\ddot{V} + F_p + F_x + F_n = F_t, \quad (1)$$

де  $m$  – маса МТА;  $\ddot{V}$  – прискорення МТА в проекції на напрям руху (похідна за часом  $t$  від лінійної швидкості руху

$V, \dot{a} = \frac{da}{dt}$ );  $F_p = P_p \cdot V^2$  – тяговий опір робочої машини,  $P_p$  – динамічний коефіцієнт функції тягового опору,

$\frac{H \cdot c^2}{m^2}$ ;  $F_x = \tilde{N} \cdot k_x$  – опір перекочуванню коліс МТА,  $\tilde{N} = mg \cdot \cos \alpha$  – нормальна реакція поверхні поля,  $k_x$  – коефіцієнт перекочування,  $g = 9,81 \frac{m}{c^2}$ ,  $\alpha$  – кут нахилу дотичної до траєкторії руху МТА до осі координат ОХ;  $F_n = mg \cdot \sin \alpha$  – проекція ваги на напрямок руху МТА;  $F_t = \frac{N}{V}$  – тягове зусилля на рушіях енергозасобу,  $N$  – потужність, приведена до рушіїв енергозасобу МТА (у подальшому ризика над  $N$  опущена);  $S$  – переміщення МТА, яке є функцією  $x, y$ ; залежність  $y = f(x)$  задана (рельєф поля).

Рівняння (1) можна подати таким чином:

$$m\ddot{V} + P_p \cdot V^2 + mgV \cdot (k_x \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = N. \quad (2)$$

У випадку, коли рух МТА по полю рівномірний ( $\ddot{V} = 0$ ), (2) набуває вигляду:

$$V^3 + \frac{mg}{P_p} \cdot V \cdot (k_x \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) - \frac{N}{P_p} = 0 \quad (3)$$

Рівняння (3) є кубічним відносно  $V$  при заданих значеннях  $\alpha, P_p, m, k_x, N$ . Якщо поверхня поля може бути задана рівнянням [3]

$$y = a \cdot \cos(bx), \quad (4)$$

де  $a$  – амплітуда, м;  $b$  – має розмірність,  $m^{-1}$ ;

$\left(\frac{1}{b}\right) \cdot 2\pi$  – просторовий період коливань рельєфу поля.

Тоді рівняння (3) перетворюється:

$$V^3 + \frac{mg}{P_p} \cdot V \cdot \left( \frac{k_x + ab \cdot \sin(bx)}{\sqrt{1 + a^2 \cdot b^2 \cdot \sin^2(bx)}} \right) - \frac{N}{P_p} = 0 \quad (5)$$

Використовуючи [4], знайдемо корені (5) аналітично. Введемо позначення:

$$p = \frac{mg}{P_p} \cdot \left( \frac{k_x + ab \cdot \sin(bx)}{\sqrt{1 + a^2 \cdot b^2 \cdot \sin^2(bx)}} \right); \quad (6)$$

$$q = -\frac{N}{P_p}; \quad Q = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^3$$

Вважаємо, що  $Q > 0$  тоді єдиний дійсний корінь (5) можна знайти за формулою:

$$V = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}} \quad (7)$$

Таким чином, із співвідношення (6), (7) визначають швидкість  $V$  рівномірного руху МТА, яка залежить від рельєфу поля, заданого рівнянням (4).

Розглянемо далі рівняння (2), у якому  $\ddot{V} \neq 0$  (прискорений рух МТА по полю з рельєфом(4)).

У цьому випадку для складової швидкості  $V$  вподовж осі ОХ, з якою рухається МТА, маємо:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

Тоді рівняння (2) набуває вигляду:

$$\dot{x} + \frac{P_p \cdot \dot{x}^2}{m \cdot \cos \alpha} = \cos^2 \alpha \cdot \left[ \frac{N}{m \cdot \dot{x}} - g \cdot (k_x + \operatorname{tg} \alpha) \right] \quad (8)$$

$$\text{де } \cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + a^2 \cdot b^2 \cdot \sin^2(bx)}};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = -ab \cdot \sin(bx)$$

Це нелінійне диференціальне рівняння за початкових умов:  $x|_{t=0} = 0, \dot{x}|_{t=0} = V_0 \neq 0$  (початкова швидкість МТА) було розв'язане чисельно за допомогою ПЕОМ.

На рис. 2 наведені залежності від часу та геометричних параметрів нерівності, вподовж котрої рухається МТА.

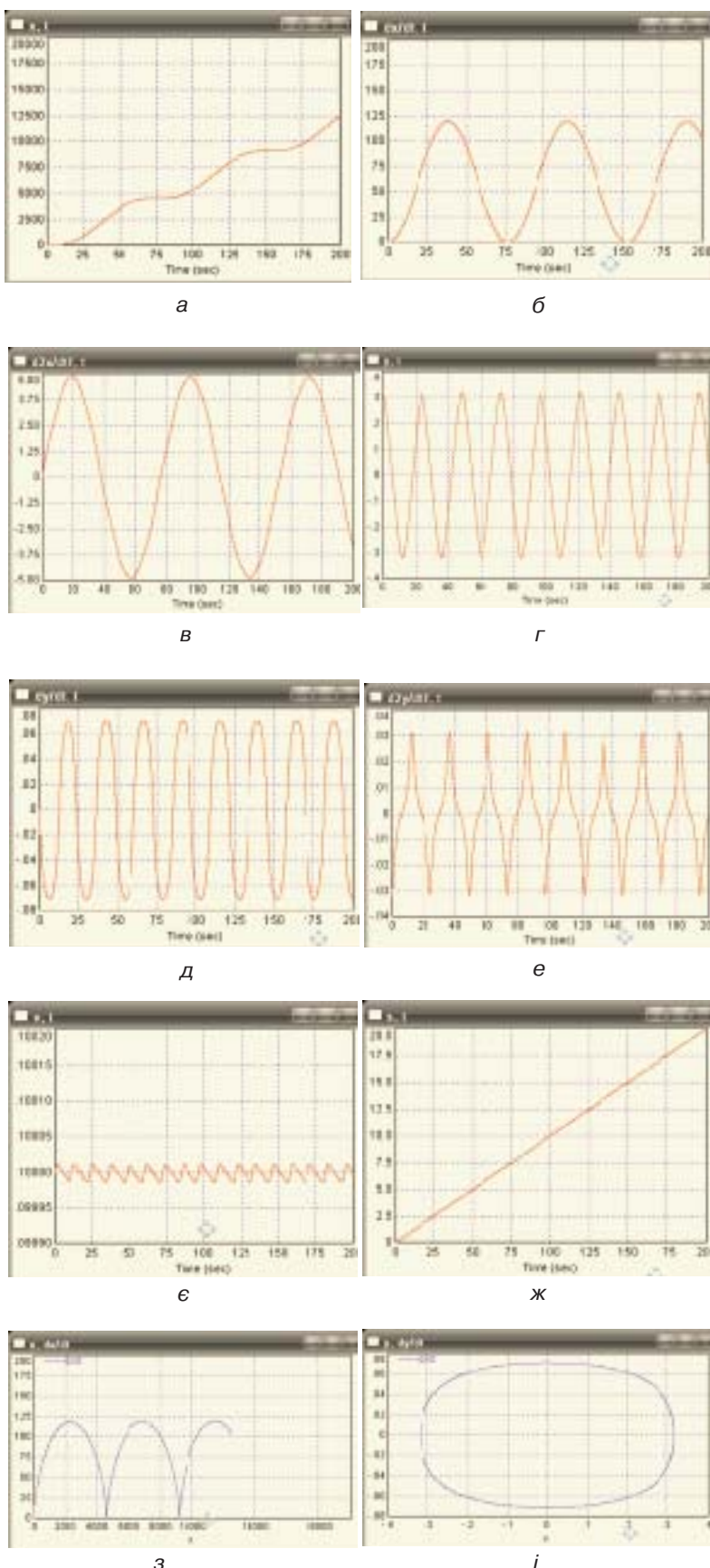


Рис. 2 – Залежності  $a - \dot{x}(t)$ ,  $b - \dot{v}(t)$ ,  $c - \ddot{x}(t)$ ,  $d - \dot{y}(t)$ ,  $e - \dot{\psi}(t)$ ,  $f - v(t)$ ,  $g - \dot{\phi}(t)$ ,  $h - \phi(t)$ ,  $i - (x; \dot{x})$ ,  $j - (y; \dot{y})$  при значеннях  $b = 9,14 \text{ м}^{-1}$

**Висновки.** Встановлено умови й обчислено аналітичним шляхом швидкість руху, за якої врівноважені сумарна сила опору та рушійна сила машинно-тракторного агрегату, відсутні прискорення останнього, а кінематичні характеристики режиму переміщення залежать від профілю рельєфу поля.

#### Список літератури

1. 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: Мін. агрополітики України, 2005. – 338 с.
2. Рославцев А. В. Особенности современных исследований движения транспортно-технологических средств. / А. В. Рославцев, С. Н. Щитченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – №6. – С. 28 – 30.
3. Гуцол О. П. Обгрунтування швидкісного режиму переміщення машинно-тракторного агрегата. / О. П. Гуцол, В. П. Ковбаса, В. О. Соломка // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. – Вип. 21. – Т.1 – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011. – С. 96 – 104.
4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970. – 720 с.

**Аннотация.** Сделан уточненный анализ закономерностей режимов перемещения машинно-тракторных агрегатов с учетом рельефа поля. Установлены условия и вычислена аналитическим путем скорость движения, при которой уравновешены суммарная сила сопротивления и движущая сила машинно-тракторного агрегата, отсутствуют ускорения последнего, а кинематические характеристики режима перемещения зависят от профиля рельефа поля.

**Summary.** Conducted an updated analysis of the patterns of movement modes of machine-tractor units taking into account the topography of the field. Established conditions and calculated analytically speed at which equilibrium the total drag force and the driving force behind tractor unit, no speeding past and kinematic characteristics of the movement mode depends on the profile of the relief field.