

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ҐРУНТУ З САДЖАНЦЕМ КОЛИВАЛЬНИМ РОЗПУШУВАЧЕМ ВИКОПУВАЛЬНОГО ПЛУГА

Рубцов М.О., к.т.н.

Матковський О.І., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. +38097-32-82-788, e-mail:aimatkovski@mail.ru

Анотація – в статті наведено визначення роботи рухомої сили на переміщення ґрунту з саджанцем коливальним розпушувачем викопувального плуга.

Ключові слова – робота, рухома сила, коливальний розпушувач, саджанець, викопувальний плуг.

Постановка проблеми. Викопування саджанців садових культур викопувальними знаряддями потребує достатнього руйнування ґрунту навколо кореневої системи саджанцями та переміщення його на поверхню борозни, яке забезпечується рухомою силою. Переміщення ґрунту з кореневою системою саджанця після підкопування викопувальної скобою здійснюється розпушувачем, який може коливатись. Такі умови переміщення дозволяють більш активно руйнувати ґрунт навколо кореневої системи саджанця. Затрати енергії на переміщення є складовою тягового зусилля, тому вони повинні бути мінімальними.

Доцільно визначити залежність величини рухомої сили від параметрів розпушувача, а також її роботу, на переміщення ґрунту з саджанцем.

Аналіз останніх досліджень. Забезпечення переміщення ґрунту, за умови підпору з боку незруйнованого ґрунтового середовища розглянуто в роботах [1, 2, 3] як складове тягового зусилля. В перших двох роботах розглянуті умови переміщення ґрунту по поверхням параметри положення яких залишаються незмінними в останній змінюється. Це призводить до зміни зусиль на переміщення у складі тягового зусилля робочого органу. Перебіг змін зусиль на переміщення ґрунту потребують дослідження для з'ясування, які параметри робочих органів суттєво впливають на енергетику процесу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Робота сили на будь-якому переміщенні є однією з основних характеристик, які оцінюють дію сили на цьому переміщенні. Метою досліджень є оцінка роботи рухомої сили, яка витрачається на переміщення ґрунту та саджанців по розпушувачу для встанов-

лення її залежності від конструктивних та кінематичних параметрів розпушувача.

Основна частина. Розглянемо рух ґрунтових агрегатів з кореневою системою, після його сходу з викопувальної скоби 1, як об'єкту, на який спрямовано дію розпушувача 2. Переміщення ґрунту з кореневою системою відбувається за умови його ковзання по поверхні розпушувача (рис. 1). Це можливо коли сила опору пласта стисненню буде достатня для подолання сил тертя. Тому деформацію стиснення пласта за рахунок сил тертя і ваги під час його руху по поверхні розпушувача можна не враховувати. Приймаємо за основу недеформовану модель відділеного ґрунтового шару з кореневою системою в середині, в якому сконцентровано всю масу системи «ґрунтові агрегати – коренева система саджанця» і відобразимо її матеріальною точкою C .

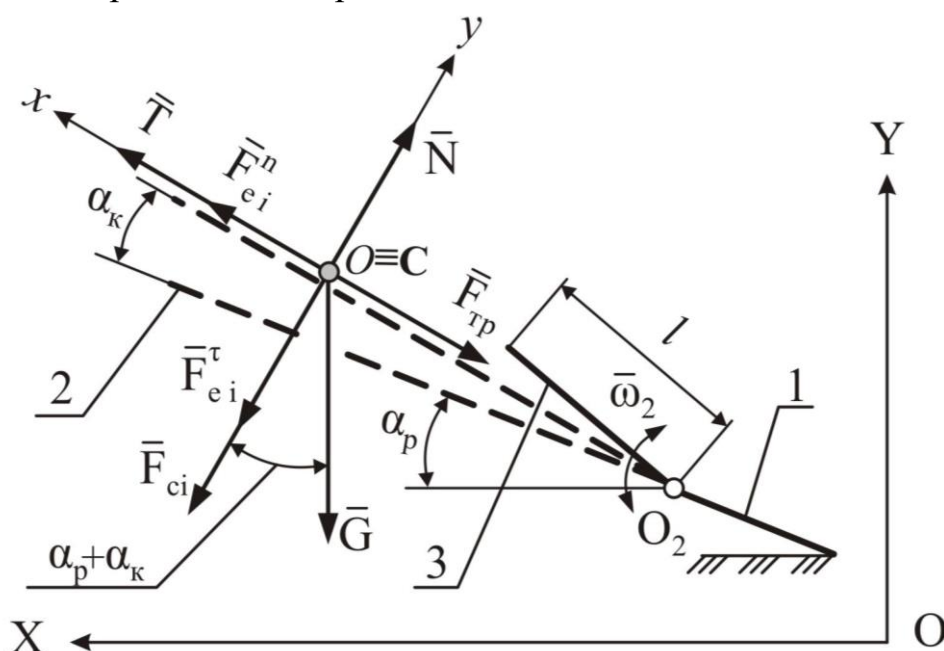


Рис. 1. Схема сил, які діють на ґрунтові агрегати під час руху за розпушувачем в момент коливань вгору: 1 – викопувальна скоба; 2 – розпушувач.

Векторне рівняння руху матеріальної точки C відносно рухомої системи координат xOy має вигляд

$$m \cdot \ddot{a}_r^\tau = \vec{T} + \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_{tp} + \vec{F}_{ei}^n + \vec{F}_{ei}^\tau + \vec{F}_{ci}; \quad (1)$$

де $\vec{T}$ – рухома сила;

$\vec{G}$ – сила тяжіння;

$\vec{N}$ – нормальна реакція зв'язку поверхні розпушувача;

$\vec{F}_{tp}$ – сила тертя;

$\vec{F}_{ei}^n$ – нормальна переносна сила інерції коливань;

$\vec{F}_{ei}^\tau$ – дотична переносна сила інерції коливань;

$\vec{F}_{ci}$ – коріолісова сила інерції.

Матеріальна т. С рухається відносно системи відліку xOy прямолінійно й рівномірно. В цьому випадку відносна швидкість $\vec{v}_r$ постійна по модулю й напрямку, тому відносне прискорення $\vec{a}_r = \dot{x} = 0$. Рівняння (1) прийме вигляд

$$\vec{T} + \vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_{mp} + \vec{F}_{ei}^n + \vec{F}_{ei}^\tau + \vec{F}_{ci} = 0. \quad (2)$$

В проекціях на осі координат xOy для випадку руху розпушувача вгору рівняння (2) буде наступним

$$\left. \begin{aligned} mx &= 0, \quad T + F_{ei}^n - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_\kappa) - F_{mp} = 0 \\ my &= 0, \quad N - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) - F_{ei}^\tau - F_{ci} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Знайдемо N з другого рівняння системи рівнянь (3)

$$N = G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau + F_{ci}. \quad (4)$$

Тоді F_{mp} дорівнює

$$F_{mp} = N \cdot f = (G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau + F_{ci}) \cdot f. \quad (5)$$

Підставимо значення у перше рівняння формули (3) та вирішимо його відносно T

$$T = G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_\kappa) + (G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau + F_{ci}) \cdot f - F_{ei}^n. \quad (6)$$

Складові рівняння (6) визначаються за формулами:

сила тяжіння

$$G = m \cdot g; \quad (7)$$

дотична переносна сила інерції

$$F_{ei}^\tau = m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l}; \quad (8)$$

коріолісова сила інерції

$$F_{ci} = 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l}; \quad (9)$$

нормальна переносна сила інерції

$$F_{ei}^n = m \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t; \quad (10)$$

кут коливань розпушувача

$$\alpha_\kappa = \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}. \quad (11)$$

З складовими рухома сила складе

$$\begin{aligned}
T = m \cdot g \cdot \sin \left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + \\
+ \left(m \cdot g \cdot \cos \left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} + \right. \\
\left. + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right) \cdot f - m \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t;
\end{aligned} \quad (12)$$

де m – маса ґрунту на розпушувачу;

g – прискорення вільного падіння;

α_p – кут встановлення розпушувача до горизонталі;

α_k – кут коливань розпушувача;

ω_1 – кутова швидкість ексцентрика;

e – величина ексцентриситету;

v_r – відносна швидкість руху ґрунту по розпушувачу;

f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту по сталі;

l – довжина важеля;

t – час переміщення ґрунту по розпушувачу.

Рухомі сили є функцією від часу тому її робота за відносною швидкістю визначиться інтегралом [4]

$$A_T = \int_0^t \bar{T} \cdot \bar{v}_r dt. \quad (15)$$

Підставимо складові рухомої сили в формулу (13)

$$\begin{aligned}
A_T = \int_0^t \left(m \cdot g \cdot \sin \left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + \right. \\
+ \left(mg \cdot \cos \left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} + \right. \\
\left. + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right) \cdot f - m \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t \Big) \cdot v_r dt.
\end{aligned} \quad (14)$$

Виконаємо обчислення роботи рухомої сили за складовими формули (14).

Для сили тяжіння в проекції вісь x робота має вигляд

$$A_{G_x} = \int_0^t m \cdot g \cdot \bar{v}_r \cdot \sin \left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) dt. \quad (15)$$

Після вирахування інтеграла за формулою (15) отримуємо

$$A_{G_x} = m \cdot g \cdot v_r \left(\alpha_p - \frac{1}{6} \alpha_p^3 + \left(1 - \frac{\alpha_p^2}{2} \right) \frac{e \cdot \omega_1^2}{6l} t^2 - \frac{\alpha_p \cdot e^2 \cdot \omega_1^4}{40l^2} t^4 - \frac{1}{336} \frac{e^3 \cdot \omega_1^6}{l^3} t^6 \right) t. \quad (16)$$

Розрахунок величини роботи, яку здійснює сила тяжіння, виконано за допомогою програми Maple, зміна якої наводиться на графіку (рис. 2). Розрахунки зроблені за вихідними даними: $v_r=1.45$ м/с; $\alpha_p=0.43$ рад.; $e=0.019$ м; $l=0.4$ м - довжина важеля; $\omega_1=20$ с⁻¹; $m=30$ кг; $g=9.81$ м/с².

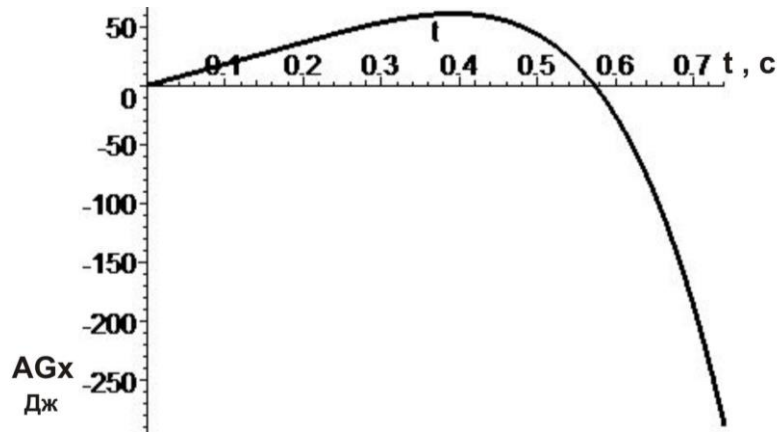


Рис. 2. Зміна роботи сили тяжіння A_{G_x} в проекції на вісь x за часом.

Для складової сили тертя сили тяжіння в проекції на вісь y робота буде наступною

$$A_{G_y} = \int_0^t m \cdot g \cdot v_r \cdot \cos \left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) dt. \quad (17)$$

Після обчислення інтеграла за формулою (17) отримуємо

$$A_{G_y} = m \cdot g \cdot v_r \left(1 - \frac{\alpha_p^2}{2} + \frac{\alpha_p^4}{24} - \frac{\alpha_p \cdot e \cdot \omega_1^2}{6l} \left(1 - \frac{\alpha_p^2}{6} \right) t^2 + \frac{\alpha_p^2 \cdot e^2 \cdot \omega_1^4}{80l^2} t^4 + \frac{\alpha_p \cdot e^3 \cdot \omega_1^6}{336l^3} t^6 + \frac{e^4 \cdot \omega_1^8}{3456l^4} t^8 \right) t. \quad (18)$$

Зміна роботи сили тяжіння за часом наведено на рисунку 3.

Для дотичної переносної сили інерції робота складе

$$A_{F_{ei}^r} = \int_0^t \frac{m \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} v_r \cdot dt. \quad (19)$$

Результат обчислення інтеграла наступний

$$A_{F_{ei}^r} = \frac{m \cdot \omega_1 \cdot v_r^2}{l} \sin(\omega_1 \cdot t) t + \frac{m \cdot v_r^2}{l} \cos(\omega_1 \cdot t) - \frac{m \cdot v_r^2}{l}. \quad (20)$$

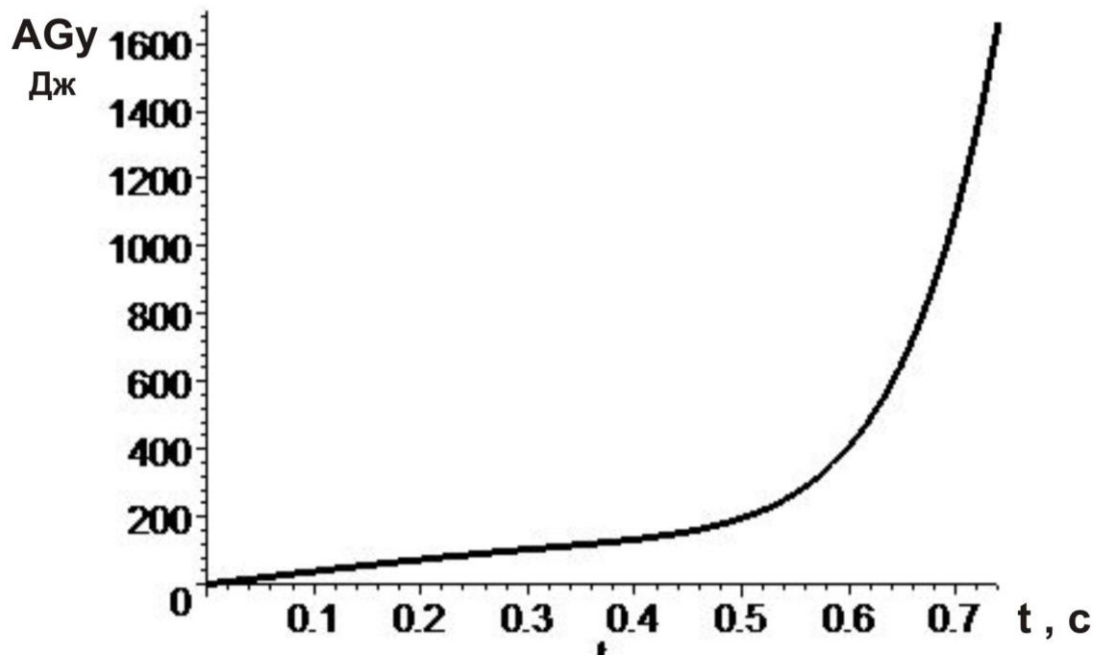


Рис. 3. Зміна роботи сили тяжіння A_{G_y} в проекції на вісь у за часом.

Зміна величини роботи дотичної переносної сили наведено нижче (рис. 4).

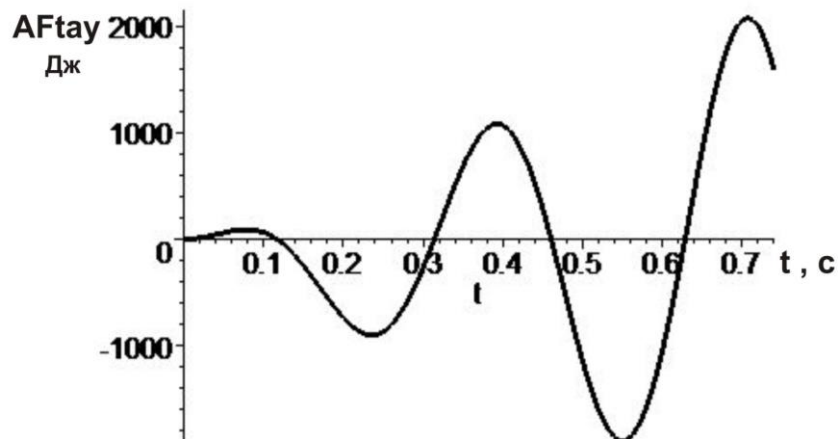


Рис. 4. Зміна роботи дотичної переносної сили інерції $A_{F_{ei}^r}$ за часом

Робота коріолісової сили інерції обчислюється інтегралом

$$A_{F_{ci}} = \int_0^t 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} f \cdot v_r = \frac{2m \cdot e \cdot \omega_1 \cdot v_r^2 \cdot f}{l} \int_0^t \sin(\omega_1 \cdot t) dt \quad (21)$$

За обчисленням інтеграла отримаємо формулу роботи коріолісової сили інерції

$$A_{F_{ci}} = \frac{2m \cdot e \cdot v_r^2 \cdot f}{l} (1 - \cos(\omega_1 \cdot t)). \quad (22)$$

Зміна величини роботи дотичної переносної сили інерції наведено нижче (рис. 5)

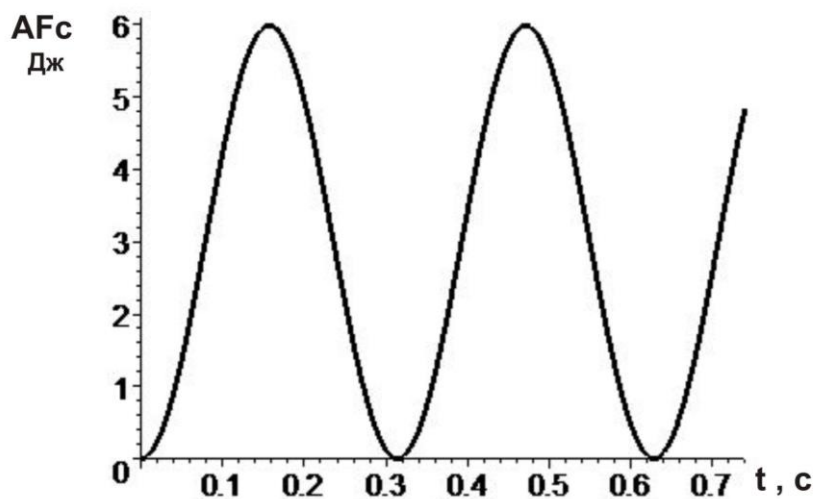


Рис. 5. Зміна роботи коріолісової сили інерції $A_{F_{ci}}$ за часом.

Для нормальної переносної сили інерції робота складе

$$A_{F_{ei}^n} = - \int_0^t m \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r^2 \cdot t \cdot dt, \quad (23)$$

після вирахування інтеграла, робота дорівнює

$$A_{F_{ei}^n} = - \frac{m \cdot e^2 \cdot \omega_1^2 \cdot v_r^2}{2} t + \frac{m \cdot e^2 \cdot \omega_1 \cdot v_r^2}{4l} t \sin(2\omega_1 t) + \frac{m \cdot e^2 \cdot v_r^2}{8l} \cos(2\omega_1 t) - \frac{m \cdot e^2 \cdot v_r^2}{8l}. \quad (24)$$

Зміна величини роботи нормальної переносної сили за часом наведено нижче (рис. 6)

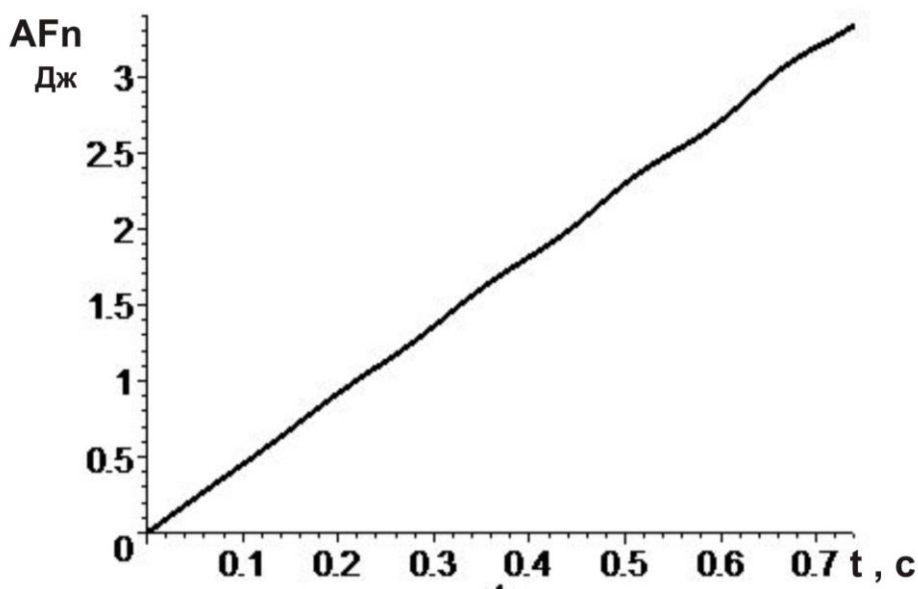


Рис. 6. Зміна роботи нормальної переносної сили інерції $A_{F_{ei}^n}$ за часом.

Попередні розрахунки роботи складових рухомої сили дозволяють перейти до визначення роботи рухомої сили

$$A_T = A_{G_x} + A_{G_y} + A_{F_{ei}^r} + A_{F_{ci}} - A_{F_{ei}^n}. \quad (25)$$

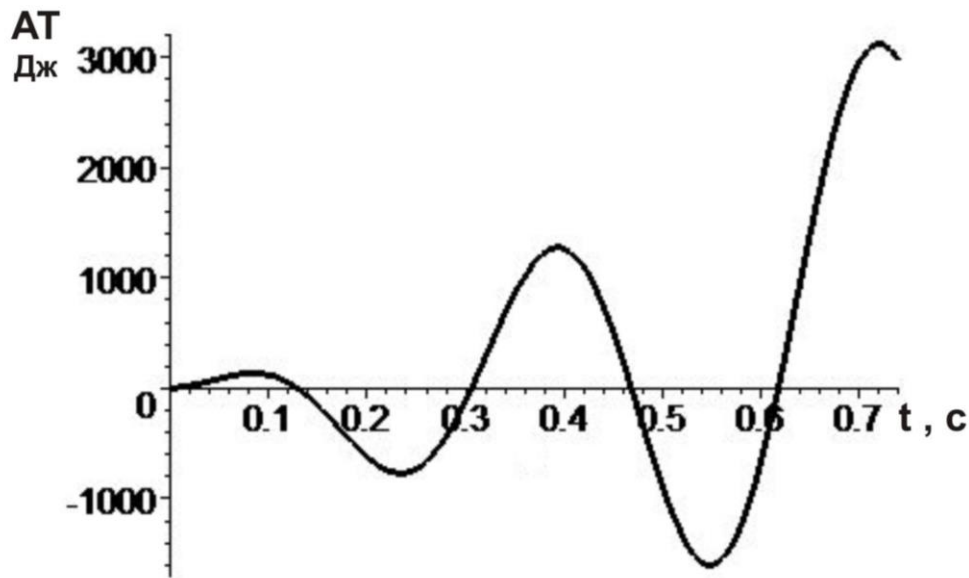


Рис. 7. Зміна роботи рухомої сили A_T за часом.

Висновки. Отримані формули визначення роботи складових рухомої сили дозволяють зробити попередні висновки:

- робота сили тяжіння буде збільшуватись при підвищенні кутової швидкості ω_1 (кінематичний параметр), часу взаємодії t та зменшення довжини важеля l (конструктивний параметр);
- робота дотичної та коріолісової сили інерції збільшуються при підвищенні швидкості v_r та зменшення довжини важеля l ;
- робота нормальної переносної сили інерції зменшує роботу рухомої сили і залежить від параметрів ω_1 , v_r , збільшення яких її підвищують.

Роботи складових сил рухомої сили збільшуються з підвищенням маси, та збільшення відносної швидкості ґрунту v_r , яка залежить від технологічної швидкості агрегату (трактора тягового касу 30 кН та викопувального плуга).

Література

1. Бледных В. С. Построение рабочей поверхности корпуса плуга на основе технологических требований / В. С. Бледных, С. В. Олейников // Совершенствование методов использования сельскохозяйственной техники / научн. Труды / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1984. – С. 82-85.
2. Бледных В.С. Тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин / В. С. Бледных // Почвообрабатывающие машины и динамика агрегатов: Сб. научн. трудов / ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1990. – С. 10-16.

3. *Кольцов М. П.* Тяговий опір коливального робочого органа викопувального плуга / *М.П. Кольцов, О. І. Матковський* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету/наук. фах. вид. / ТДАТУ – Мелітополь: 2013. – Вип. 13, т. 3. – С.156–160.
4. *Никитин Н.Н.* Курс теоретической механики: учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов. — 5-е изд. перераб. и доп. – М.:Высш. шк., 1990.— 607 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЧВЫ С САЖЕНЦЕМ КОЛЕБЛЮЩИМСЯ РЫХЛИТЕЛЕМ ВЫКОПОЧНОГО ПЛУГА

Н. А. Рубцов, А. И Матковский,

Аннотация

В статье дано определение работы движущей силы на перемещение почвы с саженцем колеблющимся рыхлителем выкопочного плуга

RESEARCH TO MOVE THE SOIL AND SEEDLING OSCILLATING SHANK RIPPER THE PLOW FOR DIGGING

N. Rubtcov, O. Matkovskyi

Summary

The article defines the robots driving force to move the soil and seedling oscillating shank ripper the plow for digging