

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Представництво Польської академії наук в Києві
Польська академія наук Відділення в Любліні
Академія інженерних наук України
Українська асоціація аграрних інженерів

Міністерство
освіти і науки
України



122 річниці НУБіП України присвячується

ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ
XVI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ В ТЕХНІЦІ»
з нагоди 89-ї річниці від дня народження
МОМОТЕНКА
Миколи Петровича
(1931-1981)

TechEnergy 2020

19-22 травня 2020 року
м. Київ

УДК 631.1.268

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ КОЛІЇ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ КОЛЕСА З ҐРУНТОМ

*Г. А. Голуб, д.т.н., проф., В. В. Чуба, к.т.н., доц.,
Н. М. Цивенкова, к.т.н., доц., В. В. Кива, магістр*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

Метою досліджень було удосконалити математичну модель утворення колії в родючому шарі ґрунту при контактній взаємодії із колісними рушіями із врахуванням параметрів колеса, дії навантаження та властивостей ґрунту.

Занурення колеса в ґрунт під дією ваги самохідної машини або трактора відбувається в процесі деформації колеса [1]. Ущільнення ґрунту спостерігається перед колесом під час його кочення завдяки затягуванню ґрунту під колесо [1, 2]. В процесі зминання ґрунту колесом спостерігається його стискання від початкової висоти до глибини колії. Далі спостерігається часткове розширення до певної висоти гребенів. Дане явище, в незначній ступені, є характерним при русі по ґрунтах із високим вмістом органіки. За цих умов у ґрунті утворюється колія [1,2].

Опір ґрунту проникненню колеса збільшується із збільшенням ступеню занурення колеса у ґрунт. З метою здійснення аналізу зміни опору ґрунту залежно від глибини прийнято допущення: опір ґрунту R є прямо пропорційним глибині заглиблення l колеса в ґрунт.

Вище зазначене записується як $dR=kd l$. Отже, коефіцієнт пропорційності k становить:

$$k = (R - R_0) / l. \quad (1)$$

де R_0 – початковий опір ґрунту, Па; R – опір ґрунту, Па; k – коефіцієнт пропорційності, Па/м; l – глибина занурення колеса в ґрунт, м.

Ступінь заглиблення коліс самохідної машини або трактора в ґрунт описується наступним рівнянням:

$$m \frac{d^2 l}{dt^2} = mg - RS = mg - S(R_0 + kl).$$

або

$$\frac{d^2 l}{dt^2} = g - \frac{RS}{m} = g - \frac{S}{m}(R_0 + kl) \quad (2)$$

де S – площа контакту колеса із ґрунтом, м²; m – маса МТА, що приходиться на одне колесо, кг; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Після перетворень розв'язок диференційного рівняння (2) запишемо у вигляді:

$$l = \frac{a}{b} + \frac{1}{b} \sqrt{a^2 + 2bC_1^2} \sin[\sqrt{b}(t + C_2)] \quad (3)$$

За початкові умови прийнято: $t=0, l=0, \frac{dl}{dt} = 0, l=MAX$.

Виходячи із початкових умов визначимо постійні інтегрування:

$$C_1^2 = b \frac{l_{MAX}^2}{2} - a l_{MAX} \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{1}{\sqrt{b}} \arcsin\left(-\frac{a}{a - b l_{MAX}}\right) \quad (5)$$

З метою перетворення рівняння (3) підставимо в нього визначені значення сталих інтегрування:

$$l = \frac{a}{b} \left\{ 1 + \left(1 - \frac{b}{a} l_{MAX} \right) \sin \left[t \sqrt{b} + \arcsin \left(-\frac{1}{1 - \frac{b}{a} l_{MAX}} \right) \right] \right\},$$

Підставивши значення $\frac{b}{a} = \frac{kS}{m} \frac{m}{mg - SR_0} = \frac{kS}{mg - SR_0}$, отримаємо:

$$l = \frac{mg - SR_0}{kS} \left\{ 1 + \left(\frac{mg - SR_0 - kS l_{MAX}}{mg - SR_0} \right) \sin \left[t \sqrt{\frac{kS}{m}} + \arcsin \left(-\frac{mg - SR_0}{mg - SR_0 - kS l_{MAX}} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

Підставимо значення тиску від колеса $P = \frac{mg}{S}$ в рівняння (6) і отримаємо:

$$l = \frac{P - R_0}{k} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{k l_{MAX}}{P - R_0} \right) \sin \left[\arcsin \left(\frac{1}{1 - \frac{k l_{MAX}}{P - R_0}} \right) - t \sqrt{\frac{kg}{P}} \right] \right\} \quad (7)$$

Математична залежність (7), яка є розв'язком диференційного рівняння (2), може бути використана для здійснення моделювання динамічних процесів деформації ґрунту під час утворення колії. При моделюванні з використанням залежності (7) слід враховувати, що синус є непарною функцією. Графік цієї функції є симетричним відносно початку координат. Отже, при моделюванні слід вибирати перший період, тому що саме у першому періоді функція синуса знаходиться у позитивному напівперіоді.

Висновок. Представлено диференційне рівняння, яке дозволяє встановити взаємозв'язок між конструктивно-експлуатаційними параметрами рушіїв тракторів та самохідних машин та властивостями агротехнологічного середовища. Рішення диференційного рівняння дозволить встановити динаміку утворення колії в ґрунті в залежності від вертикального навантаження, площі контакту колеса із опорною поверхнею та опору агротехнологічного середовища.

Список літератури

1. Vahedifard, F. Mobility algorithm evaluation using a consolidated database developed for wheeled vehicles operating on dry sands. *Journal of Terramechanics*. 2016. 63. pp. 13-22. DOI:10.1016/J.JTERRA.2015.10.002.
2. G.A. Golub, V.V. Chuba, O.A. Marus. Determination of rolling radius of self-propelled machines' wheels [Text]. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2019. 57. pp. 81-90. DOI:10.35633/INMATEH-58-05.