Секція: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНО- ТА ПРИЛАДОБУДУВАННІ
Голови: д.т.н., проф. І.В. Луців, д.т.н., проф. Т.І. Рибак, д.т.н., проф. М.І. Пилипець, д.т.н., проф. М.І. Підгурський, д.т.н., проф. Попович П.В., д.т.н., проф. Ляшук О.Л.
Вчений секретар: к.т.н., доц. В.О. Дзюра

УДК 631.316.022
А.В. Бабій, к. т. н., доц..; С.І. Коноваленко; М.В.Бабій, к. т. н.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОКОЛИВНОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ КУЛЬТИВАТОРНОЇ ЛАПИ В ҐРУНТІ

A. Babiy, Ph.D., Assoc. Prof.; S. Konovalenko; M. Babii, Ph.D.

ESEARCH OF AUTOOSCILLATIONS PROCESS OF CULTIVATOR LEG MOVEMENT IN SOIL

Підвищення продуктивності та надійності сільськогосподарських машин залишається актуальним і на даному етапі розвитку сільськогосподарського машинобудування. Процеси силової взаємодії робочих органів із ґрунтовим середовищем як вихідні параметри до виконання розрахунків на міцність вивчені ще не достатньо. Тому при моделювання динамічних задач, наприклад, руху культиваторної лапи на пружній стійці ґрунтовим середовищем сповнені певних труднощів.

Аналізуючи властивості ґрунту при його силовий взаємодії з робочим органом у вигляді клина та ряд літературних джерел, можна запропонувати в якості закону зміни опору ступеневу функцію, модульні значення якої визначаються при проведенні експериментальних досліджень, рис. 1.

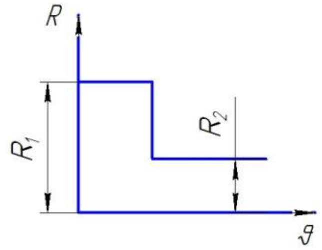

Рисунок 1 – Ступенева функція опору ґрунту

При русі культиваторної лапи із заданою жорсткістю стійки в середовищі з таким опором будемо спостерігати наступне. З початком руху рама культиватора переміщається, а сама лапа залишається нерухомою, при цьому зростає сила пружності її стійки

$$F(t) = -cx(t). \qquad (1)$$

де c – жорсткість стійки лапи; $x(t)$ – переміщення, що залежить від часу t.

Якщо на даній ділянці (мікрорівень) опір ґрунту R_1, то рух лапи почнеться при досягненні силою пружності стійки $F(t)$ цього значення. Далі при невеликому переміщенні відбудеться сколювання ґрунту і опір різко зменшиться до значення R_2. В цей момент відбудеться зрив лапи і вона переміщатиметься під дією сили пружності стійки. Це приймемо за початок відліку часу ($t = 0$) та вважатимемо, що у цей момент нулю дорівнюють як початковий зсув x, так і початкова швидкість $\dot{x}$, тобто

$$x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0. \qquad (2)$$

З іншого боку, миттєвий стрибок швидкості лапи неможливий, оскільки сила, що діє на лапу має кінцеве значення і визначається різницею $R_1 - R_2$.

Звідси є зрозумілим, що при русі машини швидкості лапи $\dot{x}$ і закріплення стійки ϑ відрізняються, а тому сила пружності стійки $F(t)$ буде зменшеною на ΔF із-за різниці переміщень, тобто

$$F(t) = R_1 - \Delta F \,, \tag{3}$$

де $\Delta F = c(x - \vartheta t)$.

Складаємо диференціальне рівняння руху лапи, яке має вигляд

$$m\ddot{x} = R_1 - \Delta F - R_2 \text{ або } m\ddot{x} + c(x - \vartheta t) = R_1 - R_2 \,. \tag{4}$$

Розділивши обидві частини рівняння на m та позначивши $p^2 = \dfrac{c}{m}$ – квадрат власної частоти системи, отримаємо

$$\ddot{x} + p^2 x = p^2 \vartheta t + \frac{R_1 - R_2}{m} \,. \tag{5}$$

Рішення цього рівняння, що відповідає початковим умовам (2), має вигляд

$$x = \vartheta t - \frac{\vartheta_0}{p}\sin(pt) + \frac{R_1 - R_2}{c}(1 - \cos(pt)) \,. \tag{6}$$

Аналізуючи рівняння (6) видно, що перший доданок правої частини описує рівномірний рух із швидкістю закріплення стійки, а решту доданків – додаткові коливання лапи. Швидкість лапи змінюється згідно із законом

$$\dot{x} = \vartheta - \vartheta\cos(pt) + \frac{p(R_1 - R_2)}{c}\sin(pt)) \,. \tag{7}$$

В якийсь момент лапа зупиниться, коли її відносна швидкість $\dot{x}$ дорівнюватиме нулю, тобто $\dot{x} = 0$.

Тоді вираз швидкості лапи (7) перетвориться у трансцендентне рівняння

$$\vartheta - \vartheta\cos(pt_1) + \frac{p(R_1 - R_2)}{c}\sin(pt_1)) = 0 \,, \tag{8}$$

тут t_1 – час від зриву до нової зупинки.

Для визначення часу t_1 введемо безрозмірний параметр

$$\alpha = \frac{p(R_1 - R_2)}{c\,\vartheta_0} \,. \tag{9}$$

Тоді умова зупинки прийме вигляд

$$\alpha \sin(pt_1) = \cos(pt_1) - 1 \,, \tag{10}$$

звідки найменший відмінний від нуля час буде становити

$$t_1 = \frac{2}{p}[\pi - arctg\,(\alpha)] \,. \tag{11}$$

Знайшовши значення t_1, можна за виразом (6) визначити переміщення лапи x_1 до моменту зупинки, тобто шлях, що пройдений лапою за час t_1

$$x = \vartheta t_1 - \frac{\vartheta}{p}\sin(pt_1) + \frac{R_1 - R_2}{c}(1 - \cos(pt_1)) = \vartheta t_1 + \frac{2\alpha\vartheta}{p} \,. \tag{12}$$

Таким чином, за отриманими виразами можна визначити силу пружного опору стійки у момент зупинки лапи. Оскільки опір $R_2 < R_1$, то лапа деякий час t_2 залишатиметься на місці. Далі процес циклічно повторюватиметься, а період коливання становитиме

$$T = t_1 + t_2 \,. \tag{13}$$

Розвиток досліджень буде спрямовано на експериментальне віднаходження сил опору ґрунту, переміщень та швидкостей лапи культиватора при заданій жорсткості її стійки та в кінцевому результаті моделювання коливного процесу системи лапа-стійка з метою підвищення ефективності роботи такого ґрунтообробного знаряддя.