

УДК 631.356

## ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ ЧАСТИНКИ ПО ЛОПАТІ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ

Beloev Hristo<sup>1</sup>, д.т.н.,Ігнат'єв Євген<sup>2</sup>, к.т.н.,Іванов С.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>"Angel Kanchev" University of Ruse<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна.

**Постановка проблеми.** У цій роботі розглянуто теоретичні аспекти взаємодії очисної лопати з голівкою коренеплоду моркви. Лопата встановлена на приводному валу з горизонтальною віссю обертання. Оскільки очисник має два вали, очищення голівки коренеплоду здійснюється з двох сторін завдяки зустрічному обертанню лопатей, які шарнірно закріплені на цих валах.

На еквівалентній схемі зображено швидкості точки контакту лопаті з голівкою коренеплоду до та після удару. Оскільки взаємодія лопатей з обох боків коренеплоду є однаковою, для спрощення на схемі показано лише одну лопату.

Взаємодія гнучкої лопаті з голівкою коренеплоду складається з двох фаз:

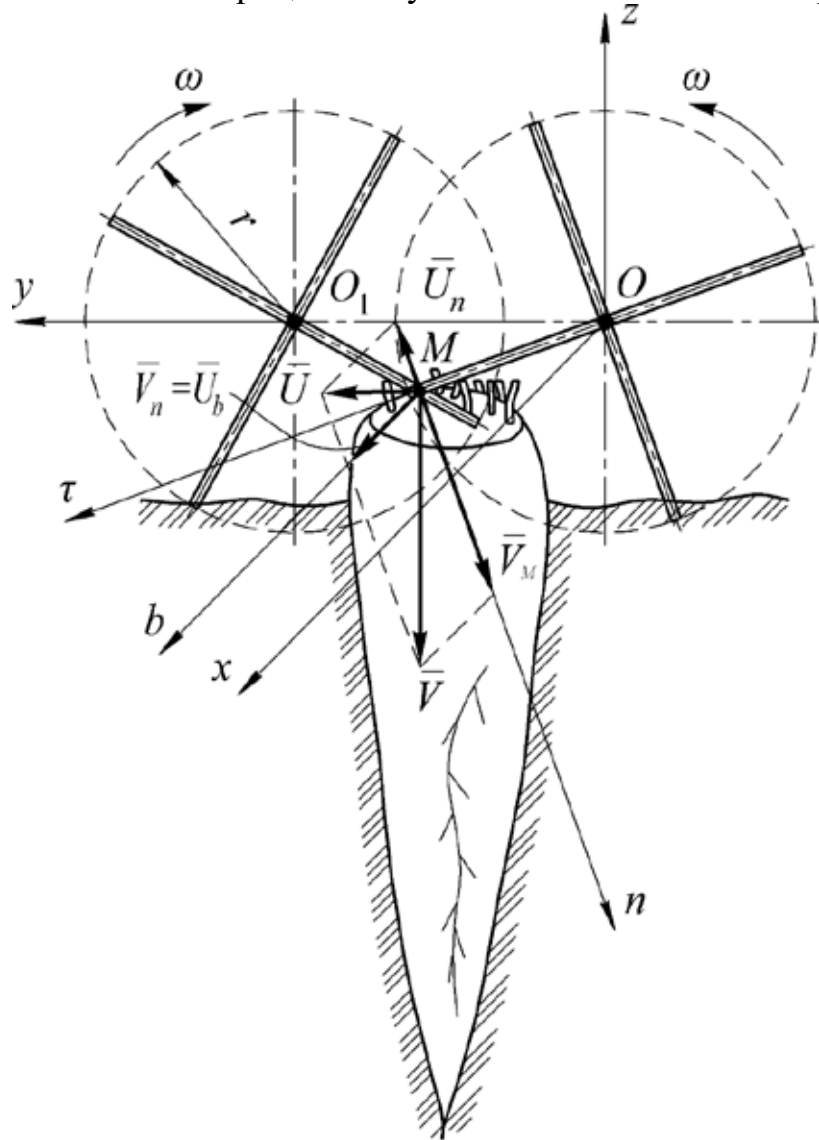
1. Фаза удару лопаті по голівці коренеплоду.
2. Фаза післяударного переміщення лопаті.

Ці дві фази забезпечують умови, за яких спочатку відбувається збивання залишків гички, а потім їх зчісування. Лопати шарнірно закріплені на приводних валах з осями обертання  $O_1$  та  $O_2$ , причому площини їх обертання перпендикулярні до осей валів. Вали обертаються назустріч один одному з кутовою швидкістю  $\omega$ , як показано на еквівалентній схемі (рис. 1).

Під час руху очисника вали розташовані вздовж рядків моркви, а площини обертання лопатей – перпендикулярні до рядків, тобто до напрямку руху очисника. Для аналізу взаємодії розглянемо лише одну лопату, припускаючи, що всі інші взаємодіють аналогічно. Нехай шарнір підвісу лопаті знаходиться на відстані  $r$  від осі обертання, а точка контакту лопаті з голівкою коренеплоду – на відстані  $l$  від осі підвісу.

Спочатку розглянемо першу фазу взаємодії – удар лопаті по голівці коренеплоду. Через те, що колова швидкість точки контакту  $\bar{V}_M$  є досить великою, до неї додається поступальна швидкість  $\bar{V}_n$  агрегата. У результаті удар лопаті по голівці коренеплоду неминучий. На еквівалентній схемі показано швидкості точки контакту  $M$  під час удару. Це необхідно для подальшого аналізу післяударного

переміщення лопаті в процесі зчісування гички з голівки коренеплоду.



**Рис. 1.** Еквівалентна схема взаємодії гнучкої очисної лопаті з голівкою коренеплоду моркви

Виберемо і покажемо на еквівалентній схемі нерухому декартову систему координат  $xOyz$ , центр якої знаходиться на осі обертання лопаті (точка  $O$ ), вісь  $Ox$  напрямлена вздовж рядка моркви в напрямку поступального руху очисника, вісь  $Oy$  напрямлена праворуч по ходу очисника, вісь  $Oz$  – вертикально вгору.

Очевидно, що при зустрічі лопаті з голівкою коренеплоду моркви відбувається удар лопаті по деякій частині голівки але для спрощення будемо вважати, що удар відбувається в точці  $K$ , що належить голівці і в точці  $M$ , що належить лопаті. В момент удару ці точки співпадають. При цьому ударний імпульс  $\bar{S}$  буде напрямлений по нормалі  $n$  до ударної поверхні лопаті у точці  $M$ .

**Основні матеріали досліджень.** Абсолютна швидкість  $\bar{V}$  точки  $M$  лопаті до удару буде дорівнювати:

$$\bar{V} = \bar{V}_n + \bar{V}_M, \quad (1)$$

де  $\bar{V}_n$  – швидкість поступального руху очисника вздовж рядка моркви (по осі  $Ox$ ) – переносна швидкість лопаті;  
 $\bar{V}_M$  – колова швидкість точки  $M$  лопаті при обертанні навколо осі  $Ox$  – відносна швидкість точки  $M$ .

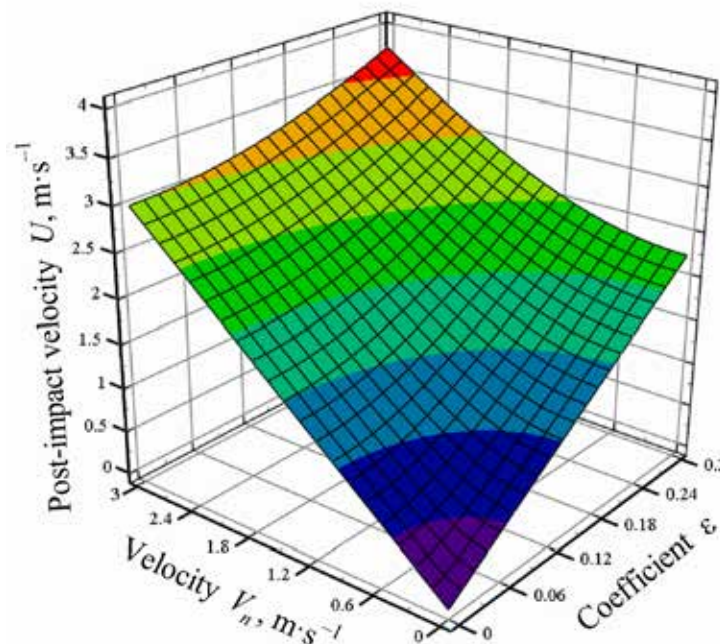
Слід зазначити, що ударний процес істотно залежить від коефіцієнта відновлення  $\varepsilon$  при ударі. Оскільки при дії ударного імпульсу залишки гички на голівці коренеплоду моркви будуть плющитись, то удар буде ближчим швидше до пластичного, ніж до пружного. Тому коефіцієнт  $\varepsilon$  буде досить невисоким (приблизно в межах 0.1...0.3). А тому швидкість  $\bar{U}$  точки  $M$  лопаті після удару також буде досить невеликою, оскільки:

$$U_n = \varepsilon V_n = (0.1..0.3) \omega \times r, \quad (2)$$

а отже згідно виразу (2):

$$U = \sqrt{V_n^2 + (0.01..0.09) \omega^2 \times r^2} \gg V_n. \quad (3)$$

В той же час швидкість  $U_n$  буде досить малою, тому лопать після удару практично не буде відстрибувати від голівки коренеплоду моркви, а тому початкові умови стану процесу подальшого зчісування гички будуть досить сприятливими, оскільки початкова швидкість точки  $M$  контакту лопаті після удару буде приблизно дорівнювати  $\bar{V}_n$ , тобто швидкості поступального руху очисника.



**Рис.2.** Поверхня відгуку швидкості  $U$  лопаті після удару в залежності від поступальної швидкості очисника  $V_n$  та коефіцієнта відновлення  $\varepsilon$

Аналіз отриманої залежності показує, що при низькій швидкості руху агрегата  $V_n$  вплив коефіцієнта відновлення  $\varepsilon$  здійснює більш істотний вплив на значення після ударної швидкості  $U$  лопаті. Так при

швидкості  $V_n=0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  після ударна швидкість  $U$  зростає на 60...360% в діапазоні зміни коефіцієнта відновлення  $e=0.1\ldots0.3$ . А при швидкості руху очисника  $V_n=3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  після ударна швидкість  $U$  зростає всього на 5...25% при зміні коефіцієнта відновлення  $e$ .

**Висновки.** В роботі розроблено теорію взаємодії очисної лопаті, яка встановлена на приводному валу з горизонтальною віссю обертання, з голівкою коренеплоду моркви на корені.

В результаті розрахунків встановлено, що при низькій швидкості руху агрегата  $V_n$  вплив кутової швидкості лопаті  $\omega$  здійснює значний вплив на значення після ударної швидкості  $U$  лопаті. Так при швидкості  $V_n=0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  після ударна швидкість  $U$  дорівнює  $0.71 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  при  $\omega=10 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  та  $2.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  при  $\omega=50 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ . А при швидкості руху очисника  $V_n=3.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  після ударна швидкість  $U$  зростає всього на 1.3...30.2% при зміні кутової швидкості лопаті  $\omega$  в діапазоні від 10 до  $50 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Проведені дослідження в подальшому можуть бути використані для розробки теоретичного апарату, що описує післяударне переміщення лопаті по голівці коренеплоду моркви процес та зчісування гички.

#### **Список використаних джерел**

1. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Ігнат'єв Є.І. Теоретичне дослідження параметрів комбінованого гичкозбирального агрегату. *Вісник аграрної науки* 95(3), С. 47–53.
2. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Arak, M., Santoro, F., Anifantis, A.S., Ihnatiev, Y., Olt, J. (2019). An experimental investigation of performance levels in a new root crown cleaner. *Agronomy Research* 17 (2), Pp. 358–370. DOI: 10.15159/AR.19.132
3. Olt J., Bulgakov V., Beloev H., Nadykto V., Ihnatiev, Ye., Dubrovina O., Arak M., Bondar M., Kutsenko A. A mathematical model of the rear-trailed top harvester and an evaluation of its motion stability. *Agronomy Research* 20(2), 2022, Pp. 371–388.
4. Ivanovs S., Smolinskyi S., Bulgakov V., Nadykto V., Ihnatiev Y., Kiernicki Z. Experimental study of the movement controllability of a machine-and-tractor aggregate of the modular type. *INMATEH-Agricultural Engineering* 61 (2), 9–16.