



УДК 515.2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ҐРУНТУ ПО РОБОЧОМУ ОРГАНУ ФРЕЗЕРНОЇ МАШИНИ

Дідур В.А., д.т.н.,

Караєв О.Г., к.т.н.,

Мінько С.А., аспірант*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел/факс (0619)422-132

Анотація - запропоновано аналітичну модель визначення відносної швидкості руху ґрунту по криволінійній поверхні активного робочого органу фрезерної машини, який обертається навколо вертикальної вісі. Визначено зміни відносної швидкості руху ґрунту по дуговій координаті поверхні робочого органу в залежності від коефіцієнту тертя ґрунту по сталі, геометричних параметрів форми і положення робочого органу, а також режимів роботи фрезерної машини.

Ключові слова – аналітична модель, відносна швидкість руху, діючі сили, криволінійна поверхня, геометричні параметри, фрезерна машина, обробіток ґрунту.

Постановка проблеми. Одним із основних напрямків розвитку сільськогосподарських машин для обробітку ґрунту є використання активних робочих органів, що забезпечують ефективне відокремлення порції ґрунту, його руйнування і переміщення. При проектуванні таких робочих органів виникають питання прогнозування їх роботи через визначення відносних швидкостей ґрунту по робочих поверхнях, величин діючих сил та інше. Для робочих органів, які обертаються навколо горизонтальної осі існує достатня теоретична база, яка надає можливість прогнозувати ефективність робочих поверхонь на стадії їх проектування, а для робочих органів які обертаються навколо вертикальної вісі така теоретична база є недостатньою. Оскільки в [1-5] було доведено, що більш якісний обробіток ґрунту в пристовбурних смугах плодових насаджень за показником його структурно – агрегатного стану досягається шляхом застосування фрезерної машини з робочими органами (далі – ножі), які обертаються навколо вертикальної

© Дідур В.А., Караєв О.Г., Мінько С.А.

* Науковий керівник д.т.н., професор В. А. Дідур



вісі, то виникла потреба в обґрунтуванні параметрів саме таких робочих органів.

Мета дослідження. Визначити відносну швидкість руху ґрунту на виході з криволінійної поверхні ножа фрезерної машини, який обертається навколо вертикальної вісі шляхом математичного опису процесу руху ґрунту по поверхні ножа під дією сил.

Основна частина. Загальновідомо [6], що величина заднього кута різання ножів роторних ґрунтообробних машин дорівнює 10° , що не виключає тертя їх задніх поверхонь по утворюваній ножами криволінійної поверхні масиву ґрунту. Тобто, між поверхнею ножа і ґрунтом має бути лінійний закон збільшення відстаней по мірі віддалення від ріжучої крайки. Це вказує на те, що при криволінійній траєкторії руху ножа направляюча його поверхні має бути криволінійною, а її ординати повинні збільшуватися за лінійним законом і встановлюватися величиною заднього кута різання $\gamma=10^\circ$, починаючи з точки на ріжучій крайки ножа [7]. Проведеними нами дослідженнями [8] встановлено, що для траєкторії руху робочих органів при швидкості руху агрегату 0,88 м/с, радіусу диска ротора 1,75 м, кутової швидкості роторів 15,8 рад/с, а також заднього кута різання $\gamma=10^\circ$ напрямна лінія поверхні ножа буде мати координати лінії, яка може бути представлена дугою кола з радіусом 0,097 м (похибка складає $\pm 1,9$ мм) і максимальною довжиною дуги CF рівною 0,114 м (рис.1). При цьому, робоча поверхня ножа має бути лінійчатою у вигляді прямого кругового циліндра з довжиною H, що дорівнює 10 см.

Для розрахунку відносної швидкості руху частки ґрунту по поверхні ножа, у відповідності до рисунку 1 маємо наступні вхідні дані.

Кінематичні параметри фрезерної машини: V_M - швидкість руху фрезерної машини; ω_1 - кутова швидкість ротора.

Конструктивні параметри ножа: R- радіус обертання ріжучої крайки ножа; R_1 - радіус напрямної поверхні ножа CF; \check{S} - довжина дуги напрямної CFH - висота ножа.

Сили, які діють на частку ґрунту (точку M): mg - сила тяжіння; F_n - центробіжна сила; $F_{тр}$ - сила тертя; F_k - сила Кориоліса; N_1 - нормальна сила реакції поверхні ножа; F_v - сила реакції ґрунту, що виникає від різниці швидкостей по шарах скиби; F_2 - підйомна сила; N_2 - реакція в шарах скиби від сили тяжіння; F - рухома сила точки M по поверхні ножа.

Приймаючи до уваги те, що відхилена ножем скиба ґрунту під дією рухомої сили F переміщується по циліндричній поверхні ножа в сторону денної поверхні поля вважаємо, що кожна частка ґрунту скиби буде рухатись по траєкторії, яка не є плоскою кривою. Тоді для визначення швидкостей руху часток ґрунту по ножу згідно з рисунком 1



побудуємо прямокутну систему координат з началом в точці М, спрямував вісь абсцис Мτ по дотичній, вісь ординат Мп по головній нормалі і вісь аплікат Мб по бінормалі. Прийнята система координат є правою, а проєкції сил в т.М на її осі будуть мати такі рівняння: на нормаль п $N_1 = F_n \cos \varphi - F_k$; на бінормаль b $F_2 = N_2 + F_v mg$; на дотичну τ, яке є диференціальним рівнянням відносного руху ґрунту по поверхні ножа

$$ma_n = m \frac{dV_r}{dt} \cdot \frac{d\check{S}}{dS} = m \frac{d\check{S}}{dt} \cdot \frac{dV_r}{dS} = mV_r \frac{dV_r}{dS} = F - F_n \sin \alpha - F_{TP}$$

або

$$mV_r \frac{dV_r}{dS} = F - F_n \sin \alpha - \mu F \cos \alpha + \mu 2m\omega_1 V_r \quad (1)$$

де рухома сила точки М по поверхні но-

$$жа $F = m\varphi_2 R_1 \left(\frac{\omega_2}{\varphi_2}\right)^2 = m \frac{\omega_2^2 R_1}{\varphi_2}$;$$

центробіжна сила $F_n = m\omega_1^2 (R - \Delta)$;

сила тертя $F_{TP} = \mu N_1$ (μ – коефіцієнт тертя);

сила Кориоліса $F_k = 2m\omega_1 v_r$ (m – маса ґрунту на ножі);

довжина дуги напрямної ножа $\check{S} = \varphi_2 R$.

В рівняння 1 підставляємо значення усіх сил і скорочуємо на масу.

Тоді маємо

$$\frac{V_r dV_r}{dS} = 2\mu\omega_1 V_r + \frac{R_1}{\varphi_2} \omega_2^2 - \omega_1^2 (R - \Delta)(\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha) \quad (2)$$

Для спрощення обчислення введемо такі позначення:
 $a = 2\mu\omega_1 = const$,

$$b = \frac{R_1 \omega_2^2}{\varphi_2} - \omega_1^2 (R - \Delta)(\sin \alpha + \mu \cos \alpha).$$

Знайдемо ω_2 з урахуванням рівності 2 та рівності $\varphi_1 + \alpha = \varphi_2$ у трикутнику OO_1M (рис. 1): $\omega_2 = \frac{\omega_1 \varphi_2}{\varphi_2 - \alpha}$

$$\text{Розділяючи змінні у рівнянні 2 маємо} \quad \frac{V_r dV_r}{aV_r + b} = dS$$

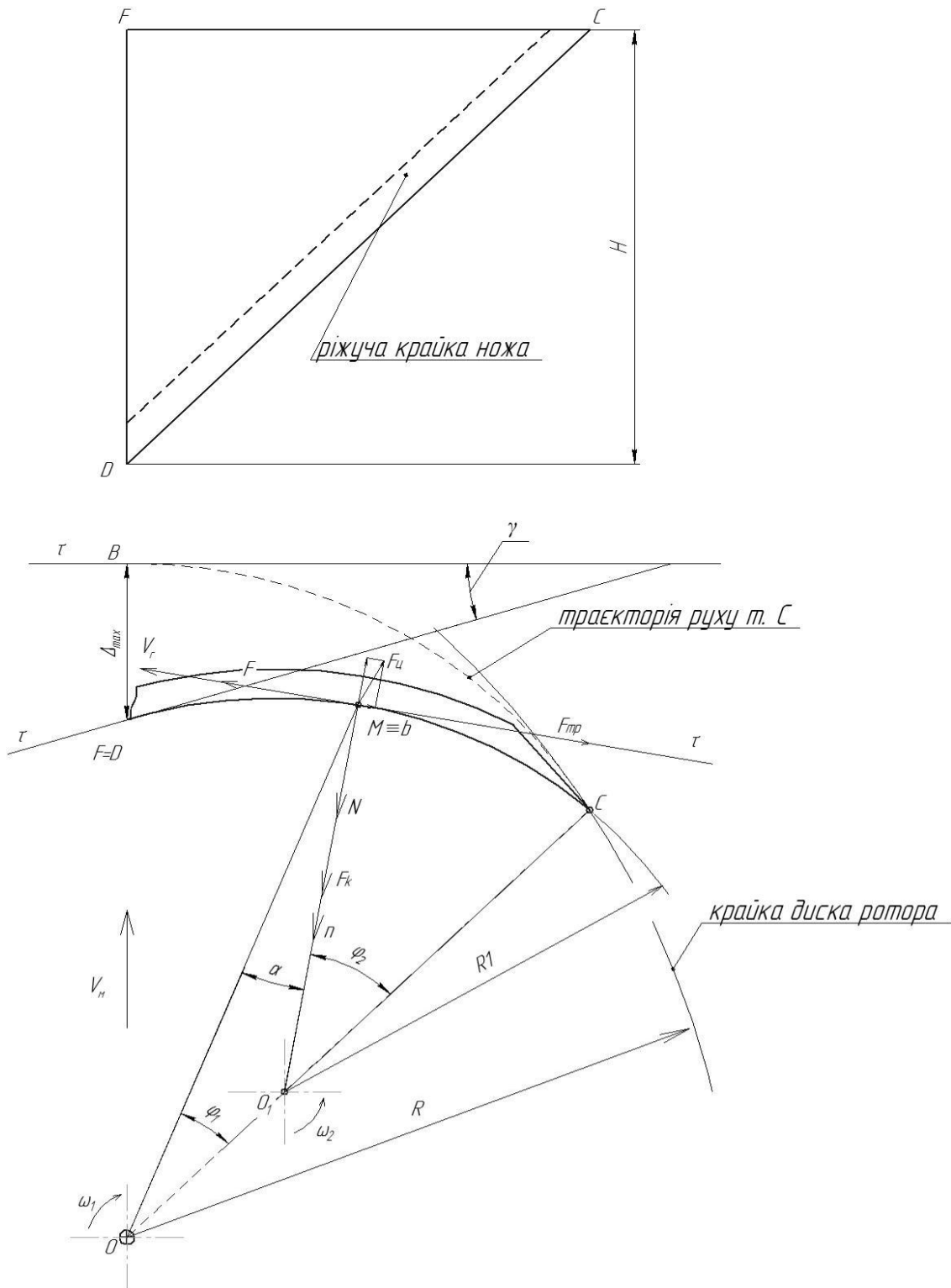


Рис. 1. Розрахункова схема щодо визначення відносної швидкості руху ґрунту по поверхні ножа.

Інтегруємо в межах: $V_r = (0, V_r')\vec{s} = (0, \vec{s}')$, (3)

$$\int_0^{V_r'} \frac{V_r dV_r}{aV_r + b} = \int_0^{\vec{s}'} dS.$$

З урахуванням табличного значення даного інтегралу маємо:

$$\frac{1}{a^2} (aV_r + b - b \ln|aV_r + b|) \Big|_0^{V_r'} = \check{S} \Big|_0^{\check{S}'}$$

Підставимо межі інтегрування (3)

$$\frac{1}{a^2} (aV_r' + b - b \ln|aV_r' + b| - b + b \ln b) = \check{S}'$$

і розділяючи змінні отримуємо рівняння

$$aV_r' - b \ln|aV_r' + b| = \check{S}' a^2 - b \ln b, \quad (4)$$

яке є трансцендентне відносно V_r і може бути вирішено наближеними методами аналізу.

Обчислення відносних швидкостей часток ґрунту по поверхні ножа і аналіз динамічних характеристик їх руху. Для розрахунків відносних швидкостей часток ґрунту по поверхні ножа розроблено комп'ютерну програму за допомогою програмної оболонки Embarcadero RAD Studio 2009. Зовнішній вигляд головної форми наведено на рисунку 2.

Обчислення по рівнянню (4) значення швидкості руху матеріальної точки M по поверхні ножа здійснено за такими вхідними даними.

$$\text{Константи руху: } b = \frac{R\omega_2^2}{\varphi_2} - \omega_1^2 (R - \Delta)(\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha);$$

$$\omega_1 = 15,8 \text{ рад/с}; R = 0,176 \text{ м}; R_1 = 0,097 \text{ м}; \mu = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; a = 2\mu\omega_1.$$

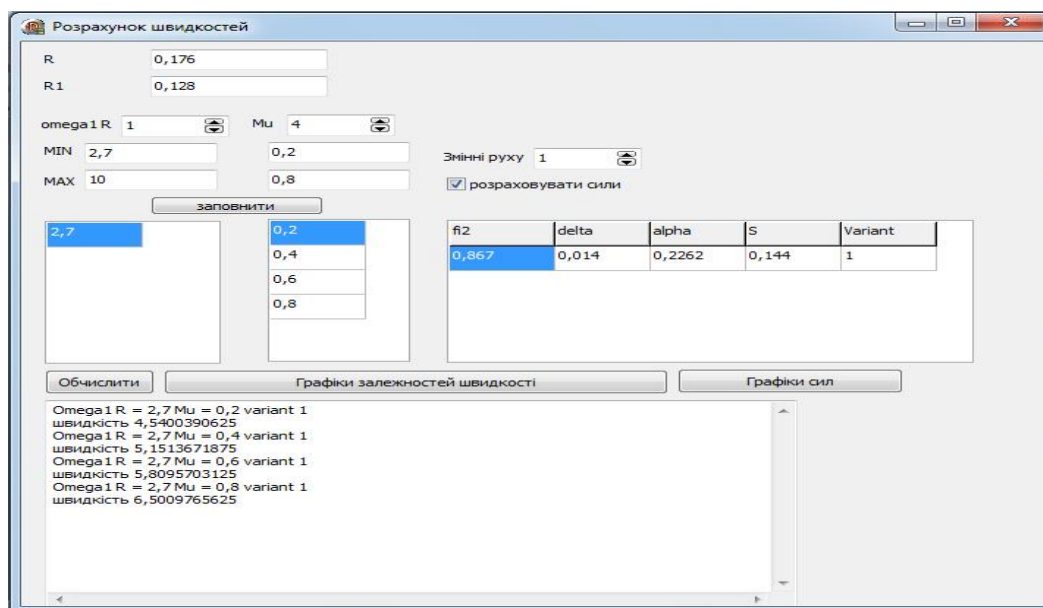


Рис. 2. Головна форма програми.

Змінні руху: $\varphi_2 = 1,742 \text{ рад}$; $\tilde{S} = 0,169 \text{ мм}$; $\Delta = 62 \text{ мм}$;
 $\alpha = 0,7501 \text{ рад}$.

Підставляючи визначені входні данні в рівняння (4), маємо значення відносної швидкості т. М по поверхні з напрямною CF, на підставі яких побудовано графіки змін відносної швидкості руху т.М в залежності від лінійної швидкості ножа при різних значеннях коефіцієнту тертя (рис. 3).

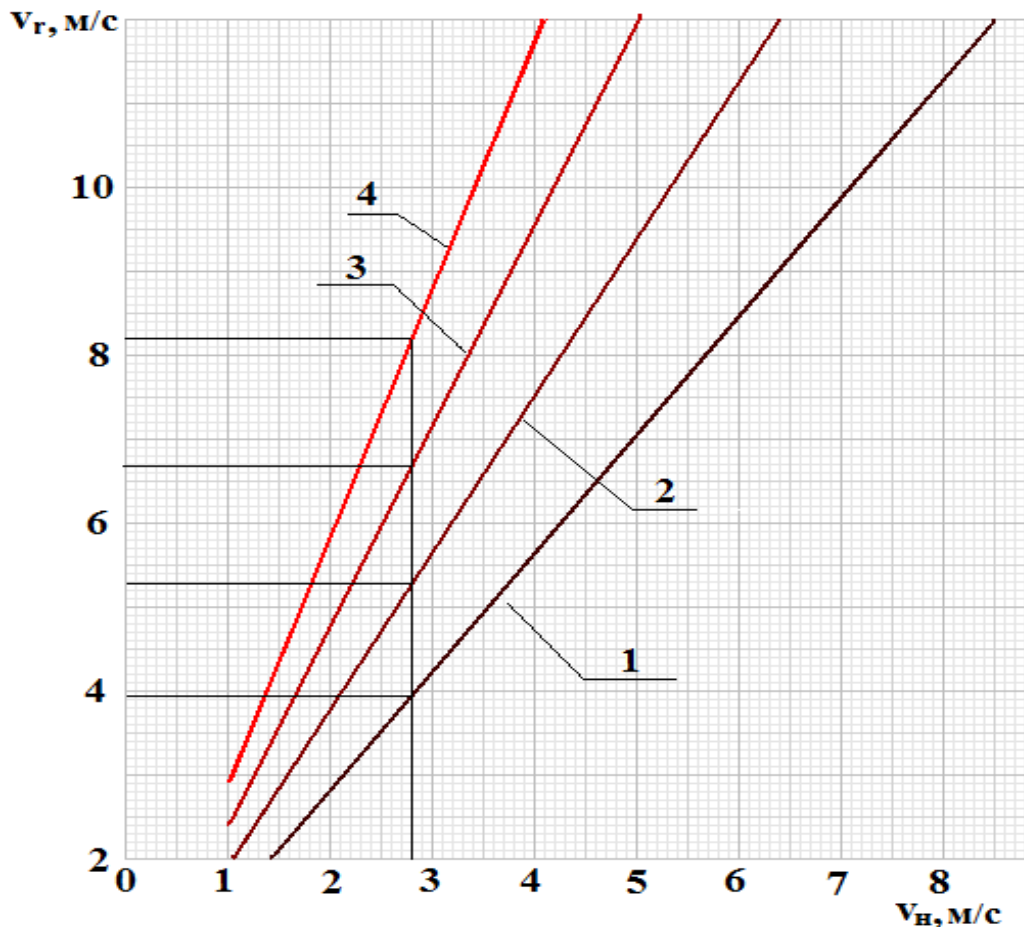


Рис. 3. Зміни відносної швидкості V_r руху т.М в залежності від лінійної швидкості ножа V_n при таких значеннях коефіцієнту тертя: 1 – $\mu=0,2$; 2 – $\mu=0,4$; 3 – $\mu=0,6$; 4 – $\mu=0,8$.

З рисунку 3 виходить, що при збільшенні коефіцієнту тертя відбувається збільшення відносної швидкості V_r руху т.М по поверхні ножа.

Визначити значення кінематичних параметрів фрези, а саме частоти обертання роторів, при якій досягається така швидкості часток ґрунту, що забезпечує оптимальне його рихлення і мінімізує потужність роботи фрези можливе за рахунок проведення планованого експерименту. Для розробки плану експерименту необхідно визначити граничні межі варіювання частоти обертання роторів. Для чого побудуємо графік

змін швидкості V_r від різних значень коефіцієнту тертя при лінійній швидкості ножа $V_H = 2,8$ м/с, яка була прийнята при обґрунтуванні напрямної ножа (рис. 4). З рисунку 4 виходить, що при середніх значеннях коефіцієнту тертя (від 0,4 до 0,6) відносна швидкість V_r руху т.М змінюється таким чином (таблиця 1).

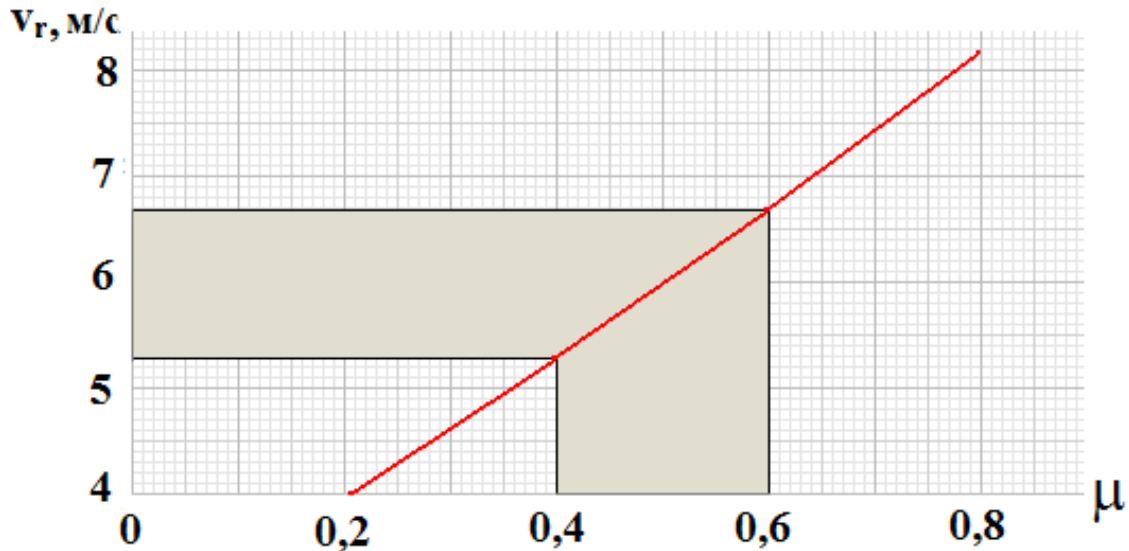


Рис. 4. Зміни швидкості V_r руху т.М по поверхні ножа від різних значень коефіцієнту тертя при лінійній швидкості ножа $V_H = 2,8$ м/с

Таблиця 1 – Значення відносних швидкостей руху частки ґрунту по поверхні ножа

μ	$b, \text{ м/с}^2$	$v_r, \text{ м/с}$
0,4	15,36	5,26
0,5	13,24	5,96
0,6	11,13	6,68

Висновки

1. Встановлено, що відносна швидкість руху V_r частки ґрунту по поверхні ножа зростає за лінійним законом і на виході з ножа, який має лінійну швидкість $V_H = 2,8$ м/с (значення було прийнято при обґрунтуванні напрямної ножа) при середніх значеннях коефіцієнту тертя від 0,4 до 0,6 змінюється таким чином при: $\mu=0,4$ $V_r = 5,26$ м/с (V_r збільшується в 2,4 рази); при $\mu=0,5$ $V_r = 5,96$ м/с (V_r збільшується в 2 рази); при $\mu=0,6$ $V_r = 6,68$ м/с (V_r збільшується в 1,8 рази), тобто маємо збільшення швидкості часток ґрунту в середньому в 2 ра-



зи, що свідчить про наявність розпушуючого ефекту запропонованою формою ножа.

2. Визначено, що для отримання значень кінематичних параметрів фрези, а саме частоти обертання роторів з метою досягнення такої швидкості часток ґрунту, при якій забезпечується оптимальна якість обробітку ґрунту і мінімізується потужність роботи фрези шляхом проведення планованого дослідження частоту обертання роторів слід приймати в межах від 2 с^{-1} до 3 с^{-1} з інтервалом 0,5.

Література

1. *Караев А. И.* Метод системного анализа механизированных технологий в орошаемом садоводстве / *А. И. Караев* // Техника АПК - 2000 р. - №2. – С.6-8.
2. *Саньков С.М.* Фреза с вертикальной осью вращения для обработки присвольных полос в саду / *С.М.Саньков, В.И.Цимбал* //Садоводство и виноградарство. – Москва: 2003. –№4.– С.9 -10.
3. *Караев А.И.* Обработка почвы в приствольных полосах многолетних насаждений фрезерной машиной /*А.И. Караев, С.М.Саньков, А.Ф.Сафонов* //Садоводство и виноградарство. – Москва: 1998. –№1.– С.12 -13.
4. *Завражнов А.И.*/ Механизация обработки межствольных полос в слаборослых садах/ *А.И. Завражнов, К.А.Манаенков* //Садоводство и виноградарство. – Москва: 1997. –№1.– С.10 -11. 2
- 5.*Минько С.А.* Результаты полевых испытаний фрезы для обработки почвы в приствольных полосах плодовых насаждений / *С.А. Минько* // Информационно-технический вестник. Финансово-технологический университет. – Королев.- № 2 (04) – 2015. – С. 111-114.
6. *Юрченко И.К.* Профилирование очерка днища ковша роторного траншейного экскаватора. / *И.К. Юрченко* // Прикладная геометрия и инженерная графика. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 23. Киев, «Будівельник», 1977, С.67-69
7. *Дідур В. А.* Проектування робочого органу фрези для обробітку ґрунту / *В. А. Дідур, С. А. Мінько* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - 2014. - Вип. 14, т. 2. - С. 61-65.



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЧВЫ ПО РОБОЧЕМУ ОРГАНУ ФРЕЗЕРНОЙ МАШИНЫ

Дідур В.А., Караєв О.Г., Мінько С.А.

Аннотація – предложена аналитическая модель определения относительной скорости движения почвы по криволинейной поверхности активного рабочего органа фрезерной машины, вращающегося вокруг вертикальной оси. Определены изменения относительной скорости движения почвы по дуговой координате поверхности рабочего органа в зависимости от коэффициента трения почвы по стали, геометрических параметров формы и положения рабочего органа, а также режимов работы фрезерной машины.

MATHEMATICAL MODEL FOR DEFINING RELATIVE SPEED OF SOIL MOVEMENT ALONG THE WORKING BODY OF THE MILLING MACHINE

V. Didur, O. Karaiev, S. Min'ko

Summary

The analytical model for defining the relative speed of soil movement along the milling machine active working body curved surface rotating round the vertical axis has been proposed in the article. The relative speed alterations in soil movement along angular position of working body surface depending on the soil friction coefficient on steel, geometric parameters of working body shape and position as well as milling machine operation modes have been defined.