

УДК 631.312.001.63

**Корчак М.М.<sup>1</sup>**Канд. техн. наук, доцент  
кафедра агроінженерії і системотехніки**E-mail:** korchak\_nikolay@ukr.net**Дудчак Т.В.<sup>1</sup>**Канд. с.-г. наук, доцент  
кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту**E-mail:** dvr48@i.ua**Вільчинська Д.В.<sup>1</sup>**Канд. с.-г. наук, асистент  
кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту**E-mail:** Daria.Vilchinska@gmail.com<sup>1</sup>Подільський державний аграрно-технічний університет  
Кам'янець-Подільський, Україна

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФРЕЗИ НА ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ ГРУБОСТЕБЛОВИХ КУЛЬТУР ПО СМУГАХ ОБРОБІТКУ

### Анотація

Проведено теоретичні дослідження фрезерного ґрунтообробного робочого органу, зокрема динамічні властивості в умовах періодичного зовнішнього навантаження та обґрунтовано основні технологічні параметри, а також проаналізовано енергетичні показники роботи.

Вихідними даними для теоретичних досліджень фрезерного робочого органу були прийняті наступні: величина міжряддя та рядка, розмірні характеристики кореневих та стеблових залишків. Теоретичні дослідження фрези дали такі обґрунтовані результати: діаметр фрезерного барабана  $D_{фр.бар} = 0,3$  м, частота обертання фрезерного барабана  $n_{фр.бар} = 190...430$  хв<sup>-1</sup>, кількість встановлених ножів на одному диску  $n = 4$  шт, обертова швидкість  $V_{об} = 6,59$  м/с.

Обґрунтовано раціональні параметри і режими роботи: потужність на фрезерування  $N_{фр} = 19,3$  кВт, крутний момент на валу фрезерного барабана  $M_{кр} = 0,45$  кН·м. Отримано подальший розвиток теоретичних основ подрібнення рослинних залишків та ґрунту, зокрема фрезерних робочих органів, що використовуються в комбінованих агрегатах. Теоретично обґрунтований фрезерний робочий орган реалізовано у розробці комбінованого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур. Досліджений робочий орган, що виконує технологічний процес подрібнення ущільнених рослинних залишків грубостеблових культур при запропонованій технології, дасть змогу в подальшому більш детально обґрунтувати математичну модель комбінованого способу обробітку поля, засміченого рослинними залишками та визначити конструктивно-технологічну структуру подрібнювача.

**Ключові слова:** теоретичні дослідження, динамічний аналіз, фрезерний робочий орган, технологічні параметри, рослинні залишки грубостеблових культур, подрібнення.

**Вступ.** Однією з головних проблем при проектуванні та створенні комбінованих фрезерних агрегатів є обґрунтування активних робочих органів, які виконували б обробіток з мінімальними витратами енергії.

Фрезерні робочі органи при запропонованому комбінованому способі обробітку поля, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур, здійснюють один із найважливіших технологічних процесів – подрібнення розрізаних, згорнених та ущільнених стебел по смугах обробітку, забезпечуючи при цьому більш ефективне протікання наступного процесу запропонованого способу [1]. Тому саме цей робочий орган, який реалізує технологічний процес, що він виконує, потребує теоретичних досліджень впливу на процес подрібнення рослинних залишків.

Теоретичні дослідження технологічного процесу впливу фрези на процес подрібнення рослинних залишків дають можливість науково обґрунтувати їх конструктивні параметри. Дослідження потрібні, у першу чергу, для теоретичного аналізу роботи саме цих робочих органів.

Розглядувана фреза є малоінерційною, і призначена для якісного подрібнення рослинних залишків грубостеблових культур в польових умовах. Робочі органи, що знаходяться попереду фрези, формують рослинні залишки в напрямку, зручному для подрібнення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До перших досліджень по фрезеруванню ґрунту відносяться наукові роботи А.П. Даліна, П.В. Павлова, І.С. Полтавцева [2, 3]. Ними досліджено вплив швидкості різання і величини подачі на енергетичні показники процесу, наведено формули для визначення товщини стружки ґрунту та швидкості руху ножів по циклоїді. Виходячи з раціональної формули В.П.Горячкіна, А.П.Далін [2] вивів рівняння повної витрати потужності на фрезерування, що складається з затрат потужності на різання ґрунту і на його відкидання, а також на переміщення машини і на втрати в трансмісії.

І.С. Полтавцев [3] наголошує на тому, що при надмірному збільшенні подачі на великих швидкостях різання різко зростають витрати потужності на привод фрези, та відповідно на фрезерування.

А.П. Далін [2] пропонує швидкість різання для горизонтальних фрез приймати в межах від 2,5 до 8,0 м/с залежно від типу ґрунту, та рекомендує великі значення швидкості різання на твердих ґрунтах.

Подрібнювачі з фрезерними робочими органами мають багато переваг та використовуються досить широко. За даними вчених Борнемана Ф., Некрасова І.А., Антипіна А.І., Тарасенка Т.І. Фролова В.П. Даліна А.Д., Павлова П.В. та ін., фрезерування забезпечує високу якість розпушення ґрунту і сприяє кращому зберіганню ґрунтової вологи. При цьому ґрунт подрібнюється краще та збільшується його мікробіологічна активність [4–9].

Способи комбінування різнотипних робочих органів в одній машині, аналіз конструкцій та принципи їх побудов, а також результати досліджень комбінованих машин викладено в наукових працях А.А. Вілде [10], І.А. Шевченка [11] та А.С. Кушнар'ова [12].

Вченими доведено, що фрезерні подрібнювачі з горизонтальним валом обертання забезпечують ефективне перемішування шарів ґрунту та мають підштовхуючий ефект при різанні зверху вниз [13, 14].

Фрези з вертикальним валом обертання, на відміну від горизонтальних фрез, не заробляють в ґрунт рослинних залишків, а навпаки, виносять їх на поверхню. До недоліків необхідно також віднести наявність розкидання ґрунту по сторонах смуги, що обробляється.

Отже, фрезерні подрібнювачі з горизонтальним валом обертання при обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур є перспективнішими.

**Метою** досліджень було проведення теоретичного аналізу фрезерного робочого органу, зокрема, його динамічного аналізу та обґрунтування основних технологічних параметрів, що в подальшому дозволить забезпечити якісне виконання технологічного процесу подрібнення рослинних залишків при запропонованій технології.

**Методологія досліджень.** Теоретичними дослідженнями передбачено обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів робочого органу для подрібнення рослинних залишків грубостеблових культур, проведення динамічного аналізу та виведення необхідних математичних залежностей. Вихідними даними для теоретичних досліджень фрезерного робочого органу були прийняті наступні: величина міжряддя та рядка, розмірні характеристики кореневих та стеблових залишків.

Теоретичні обґрунтування динамічного аналізу та технологічних параметрів фрезерного робочого органу проводили з використанням основних положень математики, фізики, теоретичної механіки та теорії землеробської механіки.

**Результати. Обґрунтування основних технологічних параметрів фрези.** При виборі параметрів фрезерного робочого органу (рис. 1) враховують агротехнічні, експлуатаційні і економічні показники. Даним умовам роботи найкраще задовольняють фрези з прямим обертанням, так як фрези з оберненим обертанням незадовільно заробляють в ґрунт рослинні залишки.

Основним агротехнічним показником ротаційної обробки є ступінь подрібнення ґрунту, що визначається подачею на ніж і постійністю глибини обробітку, що характеризується висотою гребенів на дні борозни [16].

Подачу на ніж обираємо залежно від агротехнічних вимог подрібнення поживних залишків  $S = (4 \dots 5)$  см.

Висота гребенів з достатньою точністю може бути прийнята [17]:

$$h_{зр} = 0.2 \cdot h_{фр}. \quad (1)$$

Глибина фрезерування:

$$h_{фр} = h_е + h_к, \quad (2)$$

де  $h_е$  – висота сформованого валка, см;

$h_к$  – висота кореневища (глибина залягання кореневої системи), см.

Для зменшення енергетичних затрат необхідний менший діаметр фрезерного барабана. Для орієнтовних розрахунків

$$D_{фр.бар} = (2.5 \dots 3.5) \cdot h_{фр. max}. \quad (3)$$

$$D_{фр.бар} = 2(h_е + h_к). \quad (4)$$

Ширина захвату фрезерного барабану:

$$B_{фр} = d_к + 2\Delta, \quad (5)$$

де  $d_к$  – діаметр кореневища, см;

$\Delta$  – відхилення від прямолінійного водіння, см.

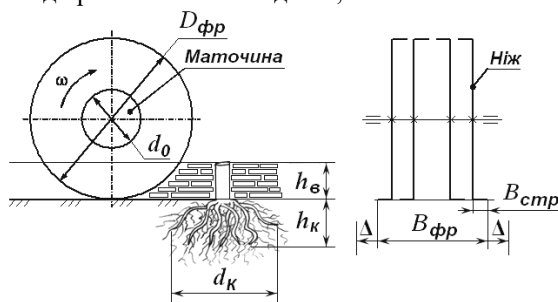


Рис. 1. Схема технологічного обґрунтування фрези

$D_{фр.бар} = (20...28)$  см. Приймаємо  $D_{фр.бар} = 30$  см.

Для зменшення затрат енергії на різання (так як  $A_{num}$  збільшується із зменшенням подачі та збільшенням поступальної швидкості), рекомендують швидкість фрезерування приймати 1,1...1,4 м/с, тобто 4...5 км/год [17].

З метою збільшення продуктивності подрібнювача приймаємо поступальну швидкість  $V_n = 5$  км/год.

$$S_z = V_n \cdot t_z. \quad (6)$$

$$t_z = \frac{t_{об}}{z}. \quad (7)$$

$$t_{об} = \frac{2\pi}{\omega}; \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}. \quad (8)$$

$$t = \frac{2\pi}{z} \frac{60}{2\pi \cdot n} = \frac{60}{z \cdot n}. \quad (9)$$

$$S_z = \frac{V_n 60}{z \cdot n}, \quad (10)$$

де  $n$  – частота обертання, з огляду на показники частоти обертання інших фрез попередньо приймаємо  $n = 400$  хв<sup>-1</sup>.

$$z_n = \frac{60V_n}{S_z \cdot n}. \quad (11)$$

Частоту обертання визначаємо із співвідношення [16]:

$$n_{фр.бар} = \frac{60V_n}{S_z \cdot z_n}. \quad (12)$$

$$V_{об} = \frac{\pi \cdot R \cdot n}{30}. \quad (13)$$

$$\lambda = \frac{V_{об}}{V_n}. \quad (14)$$

Для підрізання кореневої системи рослин використовують Г-подібні ножі. Крім того Г-подібні ножі значно краще проводять кришення ґрунту за рахунок більшої зони деформації і відкидання відрізаних стружок.

Ширина крила у польових фрез 120...150 мм. Г-подібні ножі по способу врізання в ґрунт можуть бути розділені на три типи:

- а) входять в ґрунт ножем;
- б) всією ріжучою кромкою;
- в) лезом стійки.

В останньому випадку стійка може бути прямолінійною або криволінійною (саблевидною). Стійки ножів виконані по логарифмічній спіралі мають велику довжину леза і на їх виготовлення витрачається велика кількість металу. Тому вони використовуються при  $\frac{a}{R} \geq 0,65$  і великих подачах (у нашому випадку  $\frac{a}{R} = \frac{8}{15} = 0,53$ ), а також малих подачах, тому використовуємо прямолінійні ножі [17].

При прямолінійних ножах А.Д. Далін [2] рекомендував відхилити лезо ножа по ходу руху назад на кут 30° всередині стійки, а внизу дещо більше.

Г.Ф. Попов показав [15], що перевагою ножів типу в) є краще перерізання рослинних залишків в ґрунті, не забивання і плавність наростання крутного моменту.

Радіус ножа визначаємо за формулою:

$$R_n = h_g + h_k + \frac{d_0}{2}, \quad (15)$$

Подачу на ніж та шлях фрези за один оберт барабана визначаємо за формулами [16]:

$$S_z = \frac{2\pi \cdot R}{\lambda \cdot z}. \quad (16)$$

$$S = \frac{2\pi \cdot R}{\lambda}. \quad (17)$$

**Аналіз динамічних властивостей фрези в умовах періодичного зовнішнього навантаження.** Фрезерна секція являє собою два диска, жорстко з'єднаних між собою, які обертаються на валу. Перпендикулярно до їх площини (при роботі вона вертикальна) прикріплено кількість  $n$  ножів. Диски обертаються з кутовою швидкістю:

$$\omega > V_0 \cdot R^{-1}, \quad (18)$$

де  $V_0$  – поступальна швидкість руху агрегату;

$R$  – радіус диска.

Нерівність (18) припускає наявність незалежного приводу на вал фрези. При обертанні ножі подрібнюють рослинні залишки. Безумовно, розглядувана фреза має аналоги (наприклад подрібнювачі-силосорізи), але вони працюють в стаціонарних умовах, і умови подрібнення значно відрізняються від роботи в польових умовах.

Зрозуміло, що в цих умовах обов'язковим є заглиблення ножів в ґрунт на глибину  $\bar{h}$  ( $\bar{h}$  – середнє значення, що залежить від рельєфу ґрунту).

Динамічне рівняння руху фрези має вигляд:

$$I \cdot \ddot{\varphi} = M - M_0(\dot{\varphi}) - M_1(t), \quad (19)$$

де  $I$  – момент інерції фрези;

$\ddot{\varphi}$  – кутове прискорення;

$M$  – круглий момент;

$M_0(\dot{\varphi})$  – момент сил тертя;

$M_1(t)$  – момент сил лобового опору ґрунту.

Для порівняно невеликих кутових швидкостей  $\dot{\varphi} = \omega$  без взаємодії з ґрунтом можна записати  $M(\dot{\varphi}) = M_0 \dot{\varphi}$ . Розв'язання рівняння (19) без третього доданку в правій стороні носить асимптотичний характер, причому з достатньою точністю перехідний процес можна вважати закінченим з виходом на  $\omega_0$  при  $t > 3\tau$  ( $\tau = IM_0^{-1}$ ,  $\omega$  – встановлена частота) [18].

Перетворимо рівняння (19) до наступного виду:

$$\dot{\omega} + \gamma_1 \omega = \gamma - \frac{M_1(t)}{I}; \quad \omega = \dot{\varphi}; \quad \gamma = \frac{M}{I}; \quad \gamma_1 = \frac{M_0}{I}. \quad (20)$$

Стандартне інтегрування рівняння (20) дає:

$$\omega(t) = \frac{\gamma}{\gamma_1} - \frac{1}{I} \int M_1(t_1) \exp[\gamma_1(t_1 - t)] dt + C e^{-\gamma_1 t}. \quad (21)$$

Тут  $C$  – константа інтегрування. Її значення несуттєве, так як при  $t \rightarrow \infty$  останній доданок в (21) наближується до нуля.

Інтеграл в (20) визначається видом  $M_1(t)$ .

Цілком очевидно, що  $M_1(t)$  є імпульсною функцією часу (рис. 2).

Так, на позиції  $a$ ) точки  $n$  ( $t_1 + \Delta t$ ) – початок входження ножа в ґрунт,  $nt_1 + (n-1)\Delta t$  – момент виходу.

Імпульсний характер  $M_I(t)$  дозволяє записати:

$$\int M_1(t_1) e^{\gamma t_1} dt_1 = \frac{M_{10}}{\gamma_1} \left[ \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - t_k) - \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - t_k - \Delta t) - \sum_{k=0}^{\infty} (e^{\gamma t_k} - e^{\gamma_1(t_k + \Delta t)}) \right]. \quad (22)$$

Тут  $\delta(t - t_k)$  – дельта – функція Дірака [19].

Мінімальним зовнішнім впливом буде вид імпульсів, коли  $\Delta t = 0$  (рис. 2, б). У цьому випадку вираз (22) рівний нулю, і вираз (21) дозволяє визначити константу інтегрування  $C$  [20]:

$$\omega(3\gamma_1^{-1}) = \frac{\gamma}{\gamma_1} + C e^{-3} = \omega_0. \quad (23)$$

Звідси

$$C = \frac{\omega_0 \gamma_1 - \gamma}{\gamma_1} e^3, \quad (24)$$

де  $\omega_0$  – початкова кутова швидкість обертання фрези.

Вищенаведені розрахунки дозволяють провести визначену оптимізацію. Основними припущеннями для оптимізації є наступні:

- оптимальна для різання рослинних залишків глибина  $\bar{h} < R$ ;
- забезпечення умови  $\Delta t = 0$  підбором числа ріжучих елементів, тобто, вибір  $\bar{h}$  і  $n$  таким чином, щоб виконувався режим роботи б (рис. 2);
- підбір кутової швидкості  $\omega_0$  і поступальної швидкості агрегату  $V_0$  таким чином, щоб подрібнені залишки були мінімально можливими.

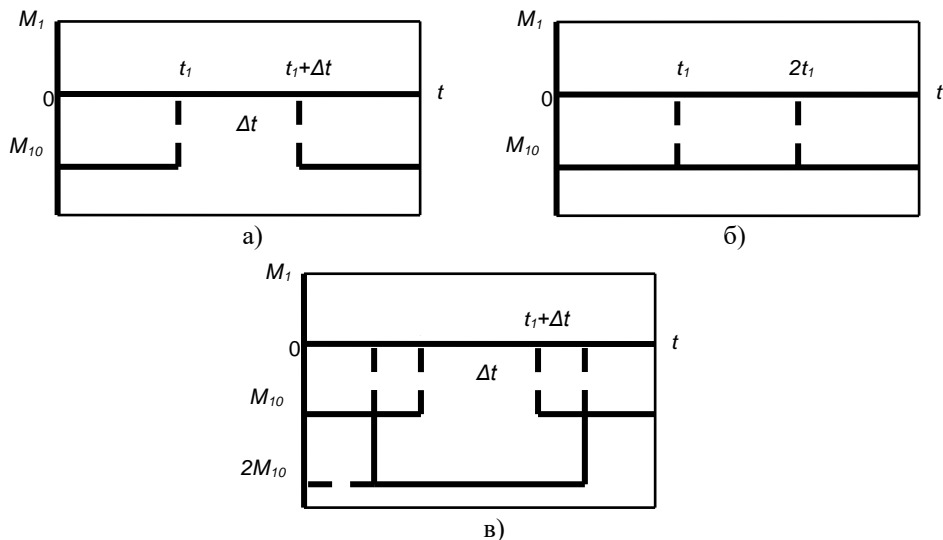


Рис. 2. Якісна залежність моменту сил лобового опору  $M$  від часу  $t$

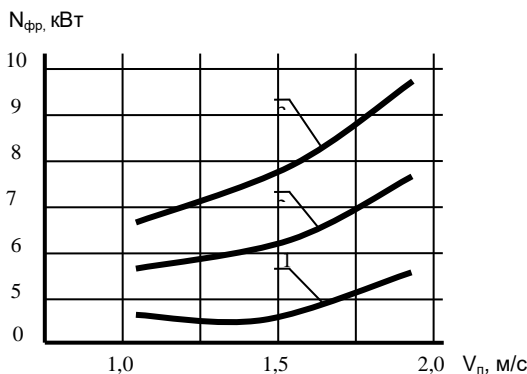
Отже, обґрунтована фрезерна секція є оптимізованою по кількості ножів  $n$  і по глибині обробітку  $h$  з умови перетворення імпульсного впливу моменту лобового опору ґрунту на постійний момент, що перетворює досить значні силові навантаження на незначні постійні. Підбір кутової швидкості  $\omega$  впливає на якість подрібнення рослинних залишків.

**Аналіз енергетичних показників роботи фрези.** Для визначення впливу експлуатаційних параметрів – робочої швидкості подрібнювача, частоти обертання фрезерного барабану і глибини фрезерування на енергетичні показники були проведені

польові досліді з використанням тензообладнання, встановленого на польовій установці [25]. Таким чином по результатам тензометрування фрези отримані енергетичні показники.

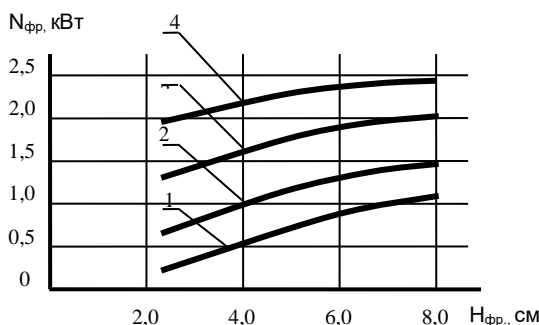
Потужність на привод фрези залежить від кінематичного режиму роботи і глибини фрезерування. Збільшення необхідної потужності на привод фрези при збільшенні глибини обробітку пояснюється зростанням кількості ґрунту, що поступає на фрезу (висота стружки).

Залежність потужності на привод фрезерного барабану від поступальної швидкості та глибини обробітку зображено на рис. 3 та 4.



**Рис. 3. Залежність потужності на привод фрезерних барабанів  $N_{фр}$  заг. від поступальної швидкості подрібнювача  $V_n$ :**

1 –  $H_{фр} = 4$  см; 2 –  $H_{фр} = 6$  см; 3 –  $H_{фр} = 8$  см;  $n_{фр.бар.} = 430$  хв<sup>-1</sup>;  $W = 17,4$  %



**Рис. 4. Залежність потужності на привод фрезерного барабану  $N_{фр}$  від глибини фрезерування  $H_{фр}$ :**

1 –  $V_n = 1,0$  м/с; 2 –  $V_n = 1,5$  м/с; 3 –  $V_n = 2,0$  м/с; 4 –  $V_n = 2,5$  м/с;  $n_{фр.бар.} = 430$  хв<sup>-1</sup>;  $W = 17,4$  %

Максимальне значення потужності при максимальних агротехнічно допустимих значеннях поступальної швидкості, частоті обертання фрезерного барабану і глибині не перевищує 2,4 кВт.

Необхідна потужність для приводу фрезерних секцій збільшується із зростанням поступальної швидкості, частоти обертання і глибини обробітку. Крутний момент має максимальне значення по частоті обертання, що співпадає з оптимальним значенням по кришенню ґрунту. Максимальне значення моменту складо 65 Н·м, а потужність – біля 2,4 кВт.

**Висновки і перспективи.** 1. Теоретичні дослідження фрези дали такі обґрунтовані результати: діаметр фрезерного барабана  $D_{фр.бар} = 0,3$  м, частота обертання фрезерного барабана  $n_{фр.бар} = 190...430$  хв<sup>-1</sup>, кількість встановлених ножів на одному диску  $n = 4$  шт, обертова швидкість  $V_{об} = 6,59$  м/с.

2. Обґрунтовано раціональні параметри і режими роботи подрібнювача: потужність на фрезерування  $N_{фр} = 19,3$  кВт, крутний момент на валу фрезерного барабана  $M_{кр} = 0,45$  кН·м.

3. Досліджений робочий орган, що виконує технологічний процес подрібнення ущільнених рослинних залишків грубостеблових культур при запропонованій технології, дасть змогу в подальшому більш детально обґрунтувати математичну модель комбінованого способу обробітку поля, засміченого рослинними залишками та визначити конструктивно-технологічну структуру подрібнювача.

4. Теоретично обґрунтований фрезерний робочий орган реалізований у розробці комбінованого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур. Основні результати теоретичних досліджень опубліковані в наукових фахових виданнях та патентах України [21-27].

5. Отримано подальший розвиток теоретичних основ подрібнення рослинних залишків та ґрунту, зокрема фрезерних робочих органів, що використовуються в комбінованих агрегатах.

#### Список використаних джерел

1. Корчак М.М. Обґрунтування технологічної функціональної моделі способу обробітку ґрунту після збирання грубостеблових культур. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2016. Вип. 24, ч. 2. С. 165–174.
2. Далин А.Д., Павлов П.В. Ротационные почвообрабатывающие и землеройные машины. Москва : Машгиз, 1950. 257 с.
3. Полтавцев И.С. Фрезерные канавокопатели. Киев : Машгиз, 1954. 132 с.
4. Борнеман Ф. Работа фрезерной почвообрабатывающей машины “патент Кешеги” и влияние этой работы на физическое состояние почвы. В кн.: *Мотокультура*. 1913. С. 76–113.
5. Некрасов И.А., Антипин А.И. Работа фрезы и плуга. Москва : Сельхозгиз, 1931. С. 64.
6. Шамота В.А. Что дает фрезерная обработка? *Колхозно-совхозное производство Молдави*. 1965. № 4. С. 12–22.
7. Тарасенко Т.И. Влияние фрезерной обработки на водно-физические свойства почвы. *Материалы научно-технического совета ВИСХОМ*. 1968. Вып. 25. С. 23–29.
8. Фролов В.П. Исследование и улучшение конструкции ротационного (фрезерного) культиватора КРН-1,4. *Изучение и усовершенствование пропашных фрез и культиваторов (Материалы научно-технического совета ВИСХОМ)*. Москва, 1965. Вып. 20. С. 69–76.
9. Ridky K. Vlit rotacni a plusni technologie orbi na pudni mikrofloru. *Zemedeska technika*. 1964. V.10, № 12. P. 761–770.
10. Вилде А.А. и др. Комбинированные почвообрабатывающие машины. Ленинград : Агропромиздат, 1986. 126 с.
11. Шевченко И.А. Разработка и совершенствование технологий и технических средств для обработки почв в аспекте их агротехнических показателей: rozprawa habilitacyjna: 05.20.01. IBMER: Warszawa, 1997. 125 с.
12. Кушнарев А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. Киев : Урожай, 1989. 144 с.
13. Jankowski. Wlosh plug rotacyjny pionowy. *Mechanizacja rolnictwa*. 1961. V. 8, № 1. P. 25–26.
14. Pascal J.A. Rotary soil working machines. *Farm Mechanisation*. 1967. V. 19, № 211. P. 24–29.
15. Попов Г.Ф. К методике проектирования рабочих органов фрезерных культиваторов. *Материалы НТС ВИСХОМ*. 1970. Вып. 27. С. 490–497.
16. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи



теорії та розрахунку. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.

17. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин. Москва : Машиностроение, 1977. 327 с.

18. Лурье И.А. Крутильные колебания в дизельных установках. Москва : Наука, 1940. 286 с.

19. Ден – Гартог Дж. Теория колебаний Москва : Гостехиздат, 1942. 234 с.

20. Карман Т., Био М. Математические методы в инженерном деле. Москва –Ленинград : ГТТИ, 1946. 285 с.

21. Sheichenko, V., Marynchenko, I., Dudnikov, I. & Korchak M. Development of technology for the hemp stalks preparation. *Independent Journal of Management and Production*. 2019. V. 10, № 7, p. 687–701.

22. Корчак М.М., Єрмаков С.В. Дослідження характеру засміченості поля листостебельними та кореневими залишками після збирання кукурудзи. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2007. Вип. 15. С. 498-504.

23. Корчак М.М., Дудчак Т.В., Вільчинська Д.В. Теоретичне обґрунтування робочого органу для вирівнювання ґрунту. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2019. Вип. 1. С. 69-76.

24. Корчак М.М. Результати основних польових експериментальних досліджень подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2011. Вип. 19. С. 531–542.

25. Корчак М.М. Обґрунтування енергетичних показників подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2015. Вип. 23. С. 103–125.

26. Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Яковенко А.І. Патент 90538, Україна, МПК А 01 В 33/00. Спосіб звільнення поля від рослинних залишків грубостеблових культур / № а2008 04264; заявл. 04.04.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.

27. Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. Патент 90535, Україна, МПК А 01 В 49/02 (2006.01). Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / № а2008 03070; заявл. 11.03.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.

*Дата надходження статті до редакції : 27.01.2020  
1 рецензування 22.02.2020      Прийняття в друк: 30.04.2020*

**Korchak M.M.<sup>1</sup>**

*Ph.D. (in Engineering), Associate Professor*

**E-mail:** *korchak\_nikolay@ukr.net*

**Dudchak T.V.<sup>1</sup>**

*Ph.D. (in Agriculture), Associate Professor*

**E-mail:** *dvp48@i.ua*

**Vilchynska D.V.<sup>1</sup>**

*Ph.D. (in Agriculture), Assistant Professor*

*Department of Energy Saving Technologies and Energy Management*

**E-mail:** *Daria.Vilchynska@gmail.com*

<sup>1</sup>*State Agrarian and Engineering University in Podilya  
Kamianets-Podilskyi, Ukraine*

**THEORETICAL RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE CUTTER  
ON THE PROCESS OF GRINDING VEGETABLE RESIDUES OF  
THICK-STEM CROPS BY PROCESSING BANDS**

**Abstract**

Theoretical studies of the milling tillage working body, in particular, dynamic properties under conditions of periodic external load, are substantiated and the main technological parameters are substantiated, and energy performance indicators are analyzed. The following data were adopted as the initial data for theoretical studies of the milling working body: the size of the row-spacing and strips, the dimensional characteristics of the root and stem residues. Theoretical studies of the milling machine gave such justified results: the diameter of the milling drum  $D_{fr.bar} = 0.3$  m, the rotation frequency of the milling drum  $n_{fr.bar} = 190 \dots 430$   $h\bar{v}^{-1}$ , the number of installed knives on one disk  $n = 4$  pcs, the rotating speed  $V_{ob} = 6.59$  m/s. Rational parameters and operating modes are justified: milling power  $N_{fr} = 19.3$  kW, torque on the milling drum shaft  $M_{kr} = 0.45$  kN·m. Theoretically substantiated milling working body is implemented in the development of a combined grinder of plant residues of thick-stem crops. The investigated working body, which performs the technological process of grinding compacted plant residues of thick-stemmed crops with the proposed technology, will allow us to further substantiate in more detail the mathematical model of the combined method of processing the field clogged with plant residues and determine the structural and technological structure of the grinder. The further development of the theoretical foundations of grinding plant residues and soil, in particular milling working bodies used in combined units, has been obtained.

**Keywords:** theoretical studies, dynamic analysis, milling working body, technological parameters, plant residues of thick-stem crops, grinding.

**References**

1. Korchak, M.M. (2016). Obgruntuvannia tekhnolohichnoi funktsionalnoi modeli sposobu obrobitku gruntu pislia zbyrannia hrubosteblovykh kultur [Determination of technological and functional model of soil cultivation method after harvesting rough-stem crops]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnogo ahrarno-tekhnichnogo universytetu*, 24(2), 165–174. Retrieved from <[http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut\\_2016\\_24\(2\)\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut_2016_24(2)_23)>. [in Ukrainian]
2. Dalin, A.D., & Pavlov, P.V. (1950). *Rotatsionnyie pochvoobrabatyivayuschie i zemleroynyie mashiny* [Rotary tillage and digging machines]. Moscow: Mashgiz. [in Russian]
3. Poltavtsev, I.S. (1954). *Frezernyie kanavokopateli* [Milling ditching ditches]. Kiev: Mashgiz [in Russian]
4. Borneman, F. (1913). *Rabota frezernoy pochvoobrabatyivayushey mashiny "patent Keshegi" i vliyanie etoy raboty na fizicheskoe sostoyanie pochvy* [The work of the milling tillage machine "Keshegi patent" and the impact of this work on the physical condition of the soil]. In *Motokultura*, p. 76–113. [in Russian]
5. Nekrasov, I.A. & Antipin A.I. (1931). *Rabota frezy i pluga* [Work of a mill and a plow]. Moscow: Selhozgiz. [in Russian]
6. Shamota, V.A. (1965). Chto daet frezernaya obrabotka? [What does milling do?]. *Kolhozno-sovhoznoe proizvodstvo Moldavii*, 4, 12–22. [in Russian]
7. Tarasenko, T.I. (1968). Vliyanie frezernoy obrabotki na vodno-fizicheskie svoystva pochvy [The effect of milling on the water-physical properties of the soil]. *Materialy nauchno-tehnicheskogo soveta VISHOM*, 25, 23–29. [in Russian]
8. Frolov, V.P. (1965). Issledovanie i uluchshenie konstruksii rotatsionnogo (frezernogo) kultivatora KRN-1,4 [Research and improvement of the design of the rotary (milling) cultivator KRN-1.4]. *Izuchenie i sovershenstvovanie propashnykh frez i kultivatorov (Materialy nauchno-tehnicheskogo soveta VISHOM)*, 20, 69–76. [in Russian]
9. Ridky, K. (1964). Vlit rotacni a plusni technologie orbi na pudni mikrofluoru. *Zemedeska technika*, 10(12), 761–770. [in Polish]
10. Vilde, A.A. et al. (1986). *Kombinirovannyye pochvoobrabatyivayuschie mashiny* [Combined tillage machines]. Leningrad: Agropromizdat. [in Russian]
11. Shevchenko, I.A. (1997). *Razrabotka i sovershenstvovanie tehnologiy i tehniceskikh sredstv dlya obrabotki pochv v aspekte ih agrotehnicheskikh pokazateley: rozprava habilitacyjna: 05.20.01* [Development and improvement of technologies and technical means for soil treatment in the aspect of their agrotechnical indicators (Unpublished Doctoral dissertation)]. IBMER: Warszawa. 125 p. [in Russian]
12. Kushnarev, A.S. & Kochev, V.I. (1989). *Mehaniko-tehnologicheskie osnovy obrabotki pochvy* [Mechano-technological fundamentals of soil cultivation]. Kyiv : Urozhay. [in Russian]
13. Jankowski (1961). Wlosh plug rotacyjny pionowy. *Mechanizacja rolnictwa*, v. 8, n. 1, p. 25–

26. [in Polish]

14. Pascal, J.A. (1967). Rotary soil working machines. *Farm Mechanisation*, v. 19, n. 211, p. 24–29. [in Polish]

15. Popov, G.F. (1970). K metodike proektirovaniya rabochnih organov frezernykh kultivatorov [To the methodology of designing the working bodies of milling cultivators]. *Materialyi NTS VISHOM*, 27, p. 490–497. [in Russian]

16. Voitiuk, D.H., Baranovskyi, V.M. & Bulhakov, V.M. (2005). Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku [Agricultural machinery. Fundamentals of theory and calculation]. Kiev: Vyscha osvita. [in Ukrainian]

17. Sineokov, G.N. & Panov, I.M. (1977). *Teoriia i raschet pochvoobrabatyvayushchih mashin* [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian]

18. Lure, I.A. (1940). *Krutilnyie kolebaniya v dizelnykh ustanovkakh* [Torsional vibrations in diesel installations]. Moscow: Nauka. [in Russian]

19. Den – Gartog, Dzh. (1942). *Teoriya kolebaniy* [Theory of oscillations]. Moscow: Gostehizdat. [in Russian]

20. Karman, T. & Bio, M. (1946). *Matematicheskie metody v inzhenernom dele* [Mathematical methods in Engineering]. Moscow–Leningrad: GTTI. [in Russian]

21. Sheichenko V., Marynchenko I., Dudnikov I. & Korchak, M. (2019). Development of technology for the hemp stalks preparation. *Independent Journal of Management and Production*, 10(7), 687-701. Retrieved from <<https://dx.doi.org/10.14807/ijmp.v10i7.913>>. Access: 1 May 2019.

22. Korchak, M.M. & Yermakov, S.V. (2007). Doslidzhennia kharakteru zasmichenosti polia lystostebelnyimi ta korenevymi zalyshkami pislia zbyrannia kukurudzy [Investigation of the nature of the field weed by leafy and root residues after harvesting corn]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnogo ahrarno-tekhnicnogo universytetu*, 15, 498–504. [in Ukrainian]

23. Korchak, M.M., Dudchak, T.V., & Vilchynska, D.V. (2019). Teoretychne obgruntuvannia robochoho orhanu dlia vyviniuvannia gruntu [Theoretical substantiation of the working body for soil alignment]. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu*, 1, 69-76. Retrieved from <[https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-69-75](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-69-75)>. [in Ukrainian]

24. Korchak, M.M. (2011). Rezultaty osnovnykh polovykh eksperymentalnykh doslidzen podribniuvacha roslynnykh zalyshkiv hrubosteblovykh kultur [The results of the main field experimental studies of the grinder of plant residues of coarse crops]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnogo ahrarno-tekhnicnogo universytetu*, 19, 531–542. Retrieved from <<http://188.190.33.55:7980/jspui/bitstream/123456789/3477/1/%D0%9FB-19-531-542.pdf>>. [in Ukrainian]

25. Korchak, M.M. (2015). Obgruntuvannia enerhetychnykh pokaznykiv podribniuvacha roslynnykh zalyshkiv hrubosteblovykh kultur [Substantiation of Power Indexes of Rough-Stem Species Plants Remains Grinder]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnogo ahrarno-tekhnicnogo universytetu*, 23, 103–125. Retrieved from <[http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut\\_2015\\_23\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut_2015_23_12)>. [in Ukrainian]

26. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Yermakov, S.V. & Jakovenko, A.I. (2010). Ukraine Patent № 90538, MPK A 01 V 33/00. Sposib zvilnennia polia vid roslynnykh zalyshkiv hrubosteblovykh kultur [Way to release the field of residues of crops]. Kyiv-42, Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti» (Ukrpatent). [in Ukrainian]

27. Korchak, M.M., Bendera, I.M. & Yermakov, S.V. (2010). Ukraine Patent № 90535, MPK A 01 V 49/02 (2006.01). Kombinovanyi podribniuvach roslynnykh zalyshkiv hrubosteblovykh kultur [Combined Shredder residues of crops]. Kyiv-42, Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti» (Ukrpatent). [in Ukrainian]

Received: 01/27/2020

Revision: 02/22/2020 Accepted: 04/30/2020