



Всеукраїнський науково-технічний журнал

All-Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2520-6168 (Print)

DOI-10.37128/2520-6168-2022-4

200-  
2000-6-ОНКА

№4 (119)



2022

Machinery  
Energetics  
Transport  
of Agribusiness

ТЕХНІКА  
ЕНЕРГЕТИКА  
ТРАНСПОРТ АПК



*Всеукраїнський науково-технічний журнал*

**ТЕХНІКА,  
ЕНЕРГЕТИКА,  
ТРАНСПОРТ АПК**

*№ 4 (119) / 2022*

**м. Вінниця - 2022**

**ТЕХНІКА,  
ЕНЕРГЕТИКА,  
ТРАНСПОРТ АПК**

Журнал науково-виробничого та навчального спрямування  
Видавець: Вінницький національний аграрний університет

Заснований у 1997 році під назвою «Вісник Вінницького державного сільськогосподарського інституту».  
Правонаступник видання: Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.  
Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації  
КВ № 16644–5116 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Токарчук О.А. (головний редактор) та інші. Вінниця, 2022. № 4 (119). С. 126.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного університету (протокол № 9 від 23.12.2022 р.)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової інформації №21906-11806 Р від 12.03.2016р.*

*Журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» включено до переліку наукових фахових видань України з технічних наук (Категорія «Б», Наказ Міністерства освіти і науки України від 02.07.2020 року №886);*

*- присвоєно ідентифікатор цифрового об'єкта (Digital Object Identifier – DOI);*

*- індексується в CrossRef, Google Scholar;*

*- індексується в міжнародній наукометричній базі [Index Copernicus Value](#) з 2018 року.*

**Головний редактор**

**Токарчук О.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

**Заступник головного редактора**

**Веселовська Н.Р.** – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

**Відповідальний секретар**

**Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

**Члени редакційної колегії**

**Булгаков В.М.** – д.т.н., професор, академік НААН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Севостьянов І.В.** – д.т.н., професор, Вінницький національний аграрний університет

**Граняк В.Ф.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

**Спірін А.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

**Іванчук Я.В.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет

**Твердохліб І.В.** – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

**Іскович – Лотоцький Р.Д.** – д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет

**Цуркан О.В.** – д.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

**Купчук І.М.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

**Яронуд В.М.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет

**Зарубіжні члени редакційної колегії**

**Йордан Максимов** – д.т.н., професор Технічного університету Габрово (Болгарія)

Відповідальний секретар редакції **Полєвода Ю.А.** – к.т.н., доцент, Вінницький національний аграрний університет  
Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний університет, тел. (0432) 46–00–03

Сайт журналу: <http://tetapk.vsau.org/>

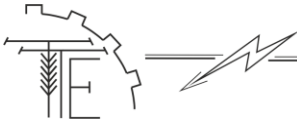
Електронна адреса: [pophv@ukr.net](mailto:pophv@ukr.net)



## ЗМІСТ

## I. АГРОІНЖЕНЕРІЯ

<i>Анісімов В.Ф., Гунько І.В., Рябошапка В.Б.</i> <b>РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЖИРНО-КИСЛОТНОГО СКЛАДУ ТА НИЖЧОЇ ТЕПЛОТИ ЗГОРАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА.....</b>	<b>5</b>
<i>Борисюк Д.В., Зелінський В.Й., Спирін А.В., Твердохліб І.В.</i> <b>ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВІ ЗВ'ЯЗКИ ПАРАМЕТРІВ ОСНОВНИХ РЕСУРСНИХ ГРУП ДВИГУНІВ ЯМЗ-236/238.....</b>	<b>16</b>
<i>Volodymyr Kuzmenko, Viktor Maksimenko, Oleksandr Kholodiuk</i> <b>THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE ENERGY CONSUMPTION OF WORK OF THE CUT MASS ACCELERATOR.....</b>	<b>24</b>
<i>Гунько І.В., Грибик Р.І.</i> <b>МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ З РОЗРОБКОЮ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПІДБОРУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ.....</b>	<b>34</b>
<i>Гунько І.В., Мизюк А.І.</i> <b>ВПЛИВ РОБОЧОГО ТИСКУ ПОДАЧІ РІДИНИ НА ПЛОЩУ ОБРОБКИ БУЛЬБ.....</b>	<b>40</b>
<i>Корчак М.М., Грушецький С.М., Токарчук О.А., Бабин І.А.</i> <b>ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ФРЕЗЕРНОГО ОРГАНУ НА ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ КУКУРУДЗИ.....</b>	<b>46</b>
<i>Svetlana Kravets</i> <b>ADAPTIVE INFLUENCE OF PRESSURE CHANGE OF THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE HYDRAULIC DRIVE.....</b>	<b>55</b>
<i>Шаргородський С.А., Галанський В.В.</i> <b>ОСНОВНІ КОНСТРУКЦІЇ СЕКЦІЙ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ У РОЗРІЗІ ТЕХНОЛОГІЇ STRIP-TILL.....</b>	<b>61</b>
<i>Яронуд В.М., Мазур І.М.</i> <b>ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТА ВИХРОВОГО ШАРУ ДЛЯ ОБРОБКИ РІДКОГО ГНОЮ СВИНЕЙ.....</b>	<b>68</b>
<b>II. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО. ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ</b>	
<i>Nataliya Veselovska</i> <b>THE LATEST TRENDS IN THE CREATION OF IMPACT-VIBRATION EQUIPMENT WITH DIFFERENT TYPES OF DRIVES FOR SOIL PROBING.....</b>	<b>77</b>
<i>Oleg Gaidamak</i> <b>STUDY OF AN ENERGY-SAVING DIE FOR RADIAL REDUCTION.....</b>	<b>90</b>
<i>Швець Л.В., Яківчук С.В.</i> <b>ТЕРМОСИЛОВА ТЕХНОЛОГІЯ БЕТОНІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ.....</b>	<b>96</b>
<b>III. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА</b>	
<i>Возняк О.М., Штуць А.А.</i> <b>КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ ЗМІННОГО СТРУМУ ЗА ПРИНЦИПОМ ПОСТІЙНОСТІ V/F І ЗВИЧАЙНОГО ШІМ-КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>102</b>
<i>Матвійчук В.А.</i> <b>РОЗВИТОК ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА.....</b>	<b>110</b>
<i>Швець Л.В., Кучеренко М.О.</i> <b>РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ПОДАЧІ ВОДИ З ВІТРОВИМ ПРИВОДОМ.....</b>	<b>120</b>



## CONTENTS

## I. AGROENGINEERING

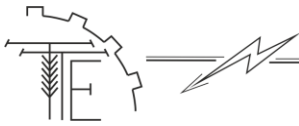
*Viktor Anisimov, Iryna Gunko, Vadim Ryaboshapka***DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINATION OF FATTY-ACID COMPOSITION AND LOWER HEAT OF COMBUSTION OF BIODIESEL FUEL..... 5***Dmytro Borysiuk, Viacheslav Zelinskyi, Anatoly Spirin, Igor Tverdokhlib***CAUSE-EFFECT RELATIONSHIPS OF THE PARAMETERS OF THE MAIN RESOURCE GROUPS OF YAMZ-236/238 ENGINES..... 16***Volodymyr Kuzmenko, Viktor Maksimenko, Oleksandr Kholodiuk***THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE ENERGY CONSUMPTION OF WORK OF THE CUT MASS ACCELERATOR..... 24***Iryna Gunko, Roman Hrybyk***SIMULATION OF THE SOIL PROCESSING UNIT WITH THE DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF WORKING BODIES..... 34***Iryna Gunko, Andriy Myzyuk***INFLUENCE OF LIQUID SUPPLY WORKING PRESSURE ON POTATO PROCESSING AREA..... 40***Mykola Korchak, Sergii Hrushetskyi, Oleksii Tokarchuk, Ihor Babyn***THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE INFLUENCE OF THE MILLING ORGAN ON THE REDUCTION OF CORN PLANT RESIDUES..... 46***Svetlana Kravets***ADAPTIVE INFLUENCE OF PRESSURE CHANGE OF THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE HYDRAULIC DRIVE..... 55***Serhiy Shargorodskiy, Vadym Halanskyi***BASIC CONSTRUCTIONS OF SECTIONS FOR FERTILIZER APPLICATION IN SECTION OF STRIP-TILL TECHNOLOGY..... 61***Vitalii Yaropud, Igor Mazur***WAYS OF IMPROVING THE VERTICAL LAYER APPARATUS FOR PROCESSING LIQUID PIG MANURE..... 68**

## II. APPLIED MECHANICS. MATERIALS SCIENCE. INDUSTRY MACHINERY BUILDING

*Nataliya Veselovska***THE LATEST TRENDS IN THE CREATION OF IMPACT-VIBRATION EQUIPMENT WITH DIFFERENT TYPES OF DRIVES FOR SOIL PROBING..... 77***Oleg Gaidamak***STUDY OF AN ENERGY-SAVING DIE FOR RADIAL REDUCTION..... 90***Ludmila Shvets, Serhii Yakivchuk***THERMAL POWER TECHNOLOGY OF NEW GENERATION CONCRETE..... 96**

## III. ELECTRICAL ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

*Oleksandr Voznyak, Andrii Shtuts***CONTROL OF ASYNCHRONOUS AC ELECTRIC MOTOR ACCORDING TO THE PRINCIPLE OF CONSTANT V/F AND CONVENTIONAL PWM CONTROL..... 102***Viktor Matviychuk***DEVELOPMENT OF ENERGY AND RESOURCE SAVING TECHNOLOGIES OF PROCUREMENT PRODUCTION..... 110***Ludmila Shvets, Maksym Kucherenko***DEVELOPMENT OF AN INSTALLATION FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY AND WATER SUPPLY WITH WIND DRIVE..... 120**



УДК 631.312.001.63

DOI: 10.37128/2520-6168-2022-4-6

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ФРЕЗЕРНОГО ОРГАНУ НА ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ КУКУРУДЗИ**

**Корчак Микола Миколайович**, к.т.н., доцент  
**Грушецький Сергій Миколайович**, к.т.н., доцент  
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
**Токарчук Олексій Анатолійович**, к.т.н., доцент  
**Бабин Ігор Анатолійович**, к.т.н., доцент  
Вінницький національний аграрний університет

**Mykola Korchak**, Ph.D., Associate Professor  
**Sergii Hrushetskyi**, Ph.D., Associate Professor  
Higher Educational Institution «Podillia State University»  
**Oleksii Tokarchuk**, Ph.D., Associate Professor  
**Ihor Babyn**, Ph.D., Associate Professor  
Vinnytsia National Agrarian University

*Проведено теоретичні дослідження фрезерного ґрунтообробного робочого органу з горизонтальною віссю обертання, обґрунтовано динамічні властивості в умовах періодичного зовнішнього навантаження та основні технологічні параметри, а також проаналізовано енергетичні показники його роботи.*

*Вихідними даними для теоретичного обґрунтування фрезерного робочого органу були прийняті: величина міжряддя та рядка, розмірні характеристики кореневих та стеблових залишків кукурудзи. Теоретичні дослідження фрезерного робочого органу дали такі обґрунтовані результати: діаметр фрезерного барабана  $D_{\text{фр.бар}} = 0,3$  м, частота обертання фрезерного барабана  $n_{\text{фр.бар}} = 190 \dots 430 \text{ хв}^{-1}$ , кількість встановлених ножів на одному диску  $n = 4$  шт, обертова швидкість  $V_{\text{об}} = 6,59$  м/с. Обґрунтовано раціональні параметри і режими роботи: потужність на фрезерування  $N_{\text{фр}} = 19,3$  кВт, крутний момент на валу фрезерного барабана  $M_{\text{кр}} = 0,45$  кН·м. Теоретично обґрунтований фрезерний робочий орган з горизонтальною віссю обертання реалізований у розробці подрібнювача рослинних залишків кукурудзи.*

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

*Отримано подальший розвиток теоретичних основ подрібнення рослинних залишків кукурудзи по смугах обробітку, зокрема фрезерних робочих органів з горизонтальною віссю обертання.*

**Ключові слова:** динамічний аналіз, фрезерний робочий орган, технологічні параметри, рослинні залишки кукурудзи, подрібнення.

**Ф. 24. Рис. 4. Літ. 14.**

---

**1. Вступ**

Основним завданням при проектуванні та створенні комбінованих фрезерних агрегатів є дослідження активних робочих органів, які виконували б обробітку з мінімальними енерговитратами. Фрезерні робочі органи при дослідженому способі обробітку поля, засміченого рослинними залишками кукурудзи, здійснюють один із найважливіших технологічних процесів – подрібнення розрізаних, згорнених та ущільнених стебел по смугах обробітку, забезпечуючи при цьому більш ефективне виконання наступного процесу 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 фрезерного робочого органу на подрібнення рослинних залишків дають можливість науково обґрунтувати їх конструктивні параметри та режими роботи.



У нашому випадку фреза є малоінерційною і призначена для якісного подрібнення рослинних залишків кукурудзи в польових умовах. Робочі органи, що знаходяться попереду фрези, формують рослинні залишки в напрямку, зручному для подрібнення.

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Передові дослідження фрезерування ґрунту опубліковані в наукових працях [2, 3, 4]. Науковцями досліджено вплив швидкості різання і величини подачі на енергетичні показники процесу, наведено математичні залежності для визначення товщини стружки ґрунту та швидкості руху ножів. Рівняння повної витрати потужності на фрезерування [2], що складається з затрат потужності на різання ґрунту і на його відкидання, а також на переміщення машини і на втрати в трансмісії.

Вчені наголошують на тому, що при надмірному збільшенні подачі на великих швидкостях різання різко зростають витрати потужності на привод фрези та фрезерування [3].

Крім того, пропонується швидкість різання для горизонтальних фрез приймати в межах від 2,5 до 8,0 м/с залежно від типу ґрунту, та рекомендуються великі значення швидкості різання на твердих ґрунтах [2].

Подрібнювачі з фрезерними робочими органами мають багато переваг та використовуються при обробі досить широко. За дослідними даними вчених, фрезерування забезпечує високу якість розпушення ґрунту і сприяє кращому зберіганню ґрунтової вологи. При цьому ґрунт подрібнюється краще та збільшується його мікробіологічна активність [1–2].

Вченими доведено, що фрезерні подрібнювачі з горизонтальним валом обертання забезпечують ефективне перемішування шарів ґрунту та мають підштовхуючий ефект при різанні зверху вниз [2, 6].

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

Отже, можна зробити висновок, що фрезерні подрібнювачі з горизонтальною віссю обертання при обробі ґрунту, засміченого рослинними залишками кукурудзи є найбільш перспективними.

## 3. Мета та завдання дослідження

Метою є провести теоретичні дослідження фрезерного робочого органу з горизонтальною віссю обертання, зокрема його динамічного аналізу та обґрунтувати основні технологічні параметри, що в подальшому дозволить забезпечити якісне виконання технологічного процесу подрібнення рослинних залишків при запропонованій технології.

Методика досліджень. Теоретичними дослідженнями передбачено обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів робочого органу для подрібнення рослинних залишків кукурудзи, проведення динамічного аналізу та виведення необхідних математичних залежностей. Вихідними даними для теоретичних досліджень були прийняті: величина міжряддя та рядка, розмірні характеристики корневих 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.

## 4. Виклад основного матеріалу

Обґрунтування основних технологічних параметрів фрезерного робочого органу з горизонтальною віссю обертання.

При виборі необхідних 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 активного обробітку є ступінь подрібнення ґрунту, що визначається подачею на ніж і постійністю глибини обробітку, що характеризується висотою гребенів на дні борозни [2].

Подачу на ніж обираємо в залежності від агротехнічних вимог подрібнення поживних залишків  $S = (4...5)$  см.

Висота гребенів може бути прийнята [2]:

$$h_{zp} = 0.2 \cdot h_{fp}. \quad (1)$$



Глибина фрезерування:

$$h_{фр} = h_e + h_k, \quad (2)$$

де  $h_e$  – висота сформованого валка, см;  $h_k$  – висота кореневища (глибина розташування кореневої системи в ґрунті), см.

Для зменшення енерговитрат необхідний менший діаметр фрезерного барабана:

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

$$D_{фр.бар} = 2(h_e + h_k). \quad (4)$$

Ширина захвату фрезерного барабану:

$$B_{фр} = d_k + 2\Delta, \quad (5)$$

де  $d_k$  – діаметр кореневища, см;  $\Delta$  – відхилення від прямолінійного водіння, см.

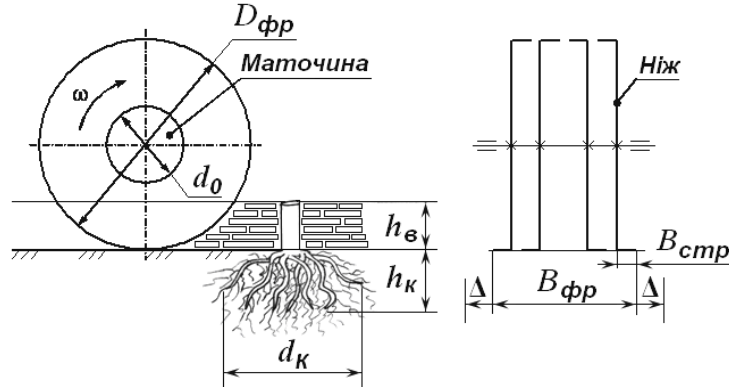


Рис. 1. Схема технологічного обгрунтування фрезерного робочого органу

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

Для зменшення затрат енергії на різання рекомендують швидкість фрезерування приймати 1,1...1,4 м/с, тобто 4...5 км/год [2].

Щоб збільшити продуктивність подрібнювача приймаємо поступальну швидкість  $V_n = 5$  км/год.

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

$$t_z = \frac{t_{об}}{z}. \quad (7)$$

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

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

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

де  $n$  – частота обертання (взявши до уваги показники частоти обертання інших фрез попередньо приймаємо  $n = 400$  хв<sup>-1</sup>).

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

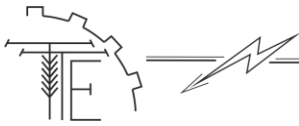
Визначаємо частоту обертання фрезерного барабана [16]:

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

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

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





Для підрізання кореневої системи рослин використовують Г-подібні ножі. Слід відмітити, що Г-подібні ножі значно краще виконують кришення ґрунту за рахунок більшої зони деформації і відкидання відрізаних стружок.

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

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

Враховуючи останній випадок, стійка може бути прямолінійною або криволінійною. Стійки ножів виконані по логарифмічній спіралі, вони 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 [2].

При прямолінійних ножах рекомендується відхилити лезо ножа по ходу руху назад на кут  $30^\circ$  всередині стійки [2].

Доведено, що перевагою ножів типу в) є краще перерізування рослинних залишків в ґрунті, не забивання і плавність наростання крутного моменту [1]

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 фрезерного барабана визначаємо за формулами [2]:

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

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

**Аналіз динамічних властивостей фрезерного робочого органу в умовах періодичного зовнішнього навантаження.** Фрезерна секція складається з двох дисків, 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 фрезерного барабана. При обертанні ножі подрібнюють рослинні залишки. Звичайно, розглядувана фреза має аналоги (наприклад подрібнювачі-силосорізи), але вони працюють в стаціонарних умовах, тобто умови подрібнення значно відрізняються від роботи в польових умовах. Очевидно, що в даних умовах обов'язковим є заглиблення ножів в ґрунт на глибину  $\bar{h}$  ( $\bar{h}$  – середнє значення, що залежить від рельєфу ґрунту).

Отже, 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;  $M$  – крутний 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) 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) [4].

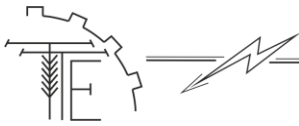
Перетворимо рівняння (19) до наступного виду:

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

Стандартне інтегрування рівняння (20) дає:

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

де  $C$  – константа інтегрування.



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

Отже, 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:

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

де  $\delta(t - t_k)$  – дельта – функція Дірака [2].

Зрозуміло, що 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  $C$  [2]:

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

Звідси

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

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

Отже, вищенаведені розрахунки дозволяють провести визначену оптимізацію.

Основні умови для оптимізації мають відповідати наступним критеріям:

- 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 забезпечити максимальне подрібнення рослинних залишків.

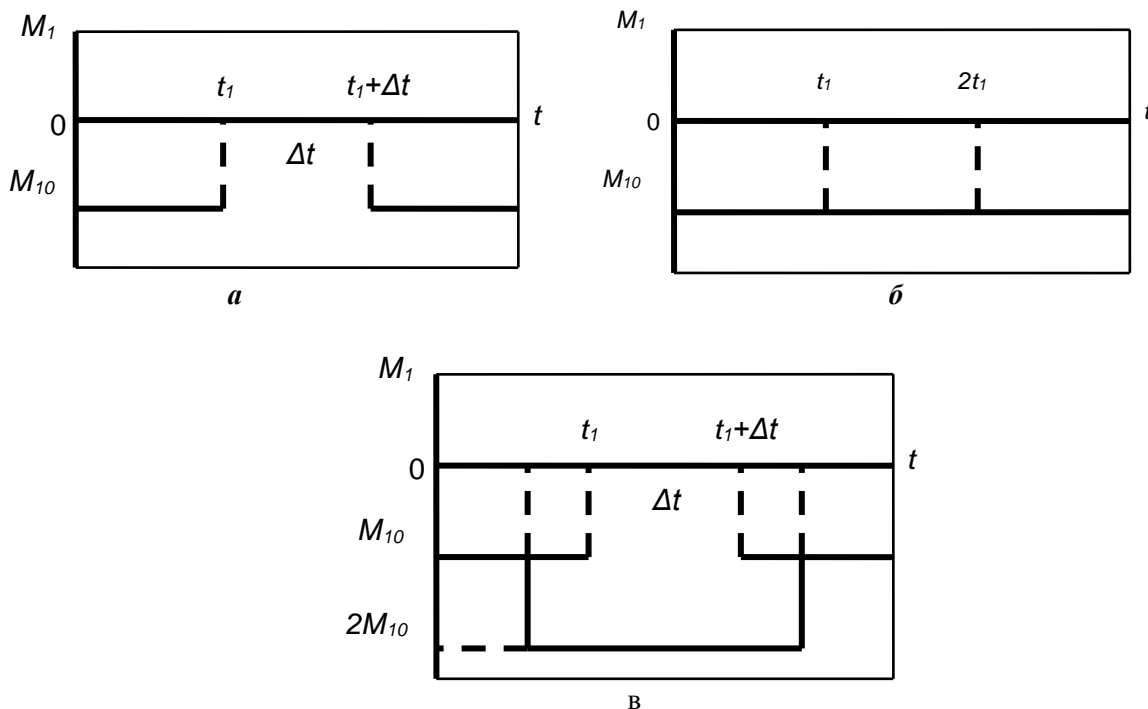
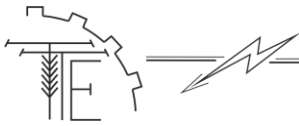


Рис. 2. Якісна залежність моменту сил лобового опору  $M$  від часу  $t$

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

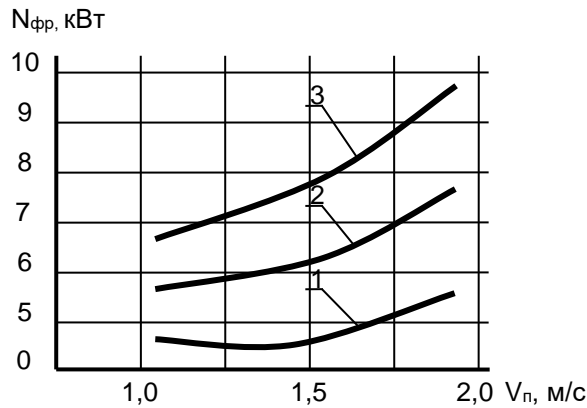
**Аналіз енергетичних показників роботи фрезерного барабану.** Для визначення впливу експлуатаційних параметрів – робочої швидкості подрібнювача, частоти обертання фрезерного барабану і глибини фрезерування на енергетичні показники були проведені польові дослідження з



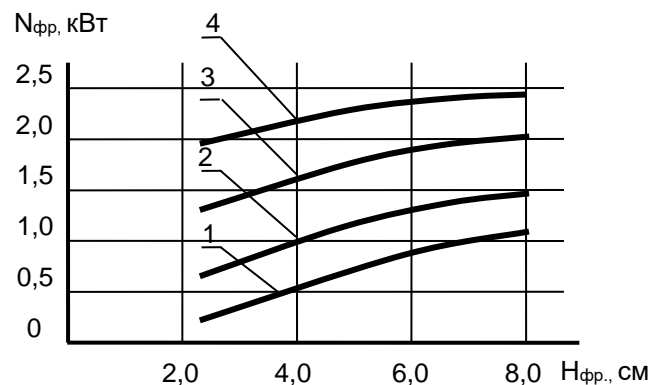
використанням тензообладнання, встановленого на експериментальній польовій установці [6]. Отже, за результатами тензометрування фрези були отримані енергетичні показники.

Потужність на привод фрези залежить від кінематичного режиму роботи і глибини фрезерування. Слід відмітити, що 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  $N_{фр. заз.}$  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>;  $W = 17,4$  %

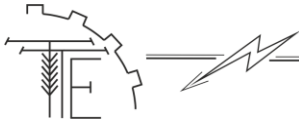
З графічних залежностей видно, що максимальне значення потужності при максимальних агротехнічно допустимих значеннях поступальної швидкості, частоті обертання фрезерного барабану і глибини не перевищує 2,4 кВт.

Отже, 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 склало 65 Н·м, а потужність – біля 2,4 кВт.

## 5. Висновки

1. Теоретичні дослідження фрезерного робочого органу дали такі обґрунтовані результати: діаметр фрезерного барабану  $D_{фр. бар.} = 0,3$  м, частота обертання фрезерного барабану  $n_{фр. бар.} = 190...430$  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: потужність на фрезерування  $N_{фр} = 19,3$  кВт, крутний момент на валу фрезерного барабану  $M_{кр} = 0,45$  кН·м.



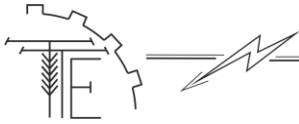
3. Досліджений фрезерний робочий орган, що виконує технологічний процес подрібнення ущільнених рослинних залишків кукурудзи при запропонованій технології, дасть змогу в подальшому детальніше обґрунтувати математичну модель способу обробітку поля, засміченого рослинними залишками та визначити конструктивно-технологічну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

4. Теоретично обґрунтований фрезерний робочий орган з горизонтальною віссю обертання реалізований у розробці подрібнювача рослинних залишків кукурудзи. Основні результати досліджень опубліковані в наукових фахових виданнях та патентах України [6-13].

5. Отримано подальший розвиток теоретичних основ подрібнення рослинних залишків кукурудзи по смугах обробітку, зокрема фрезерних робочих органів з горизонтальною віссю обертання.

#### 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. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.
3. Victor Sheichenko, Ihor Marynchenko, Ihor Dudnikov, Mykola Korchak. Development of technology for the hemp stalks preparation. *Independent Journal of Management and Production*. 2019. V. 10, № 7, p. 687–701.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Пат. 90538, Україна, МПК А 01 В 33/00. Спосіб звільнення поля від рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М. М., Бендера І. М., Єрмаков С. В., Яковенко А. І. № а200804264; заявл. 04.04.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
9. Пат. 90535, Україна, МПК А 01 В 49/02 (2006.01). Комбінований подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М. М., Бендера І. М., Єрмаков С. В. № а2008 03070; заявл. 11.03.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
10. M. Korchak, S. Yermakov, V. Maisus, S. Oleksiyko, V. Pukas, I. Zavadskaya. Problems of field contamination when growing energy corn as monoculture. *E3S Web of Conferences. Krynica, Poland. 6th International Conference – Renewable Energy Sources*. 2020. Vol. 154. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401009>.
11. Корчак М. М., Грушецький С. М. Теоретичне обґрунтування дискового робочого органу для якісного розрізання стеблових залишків кукурудзи. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2021. Вип. 2 (88). С. 25–36.
12. Mykola Korchak, Serhii Yermakov, Taras Hutsol, Lesya Burko, Weronika Tulej. Features of weediness of the field by root residues of corn. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference*. Rezekne, Latvia. 2021. Vol. 1, P. 122–126. DOI: 10.17770/etr2021vol1.6541.
13. Корчак М. М. Обґрунтування технологічного процесу розподілу стеблових залишків на смуги обробітку. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Society and science. Problems and prospects», 25-28 січня 2022 г., Лондон, Англія*. С. 586–593. DOI: 10.46299/ISG.2022.I.III.
14. Bliznjuk O., Masalitina N., Mezentseva I., Novozhylova T., Korchak M., Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst. *Eastern-European Journal of*



*Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 2, № 6 (116), P. 13–18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253655>

### References

1. Korchak, M.M. (2016). Obgruntuvannya tekhnolohichnoi funktsionalnoi modeli sposobu obrobitku gruntu pislia zbyrannia hrubosteblovykh kultur. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho ahrarno-tekhnichnoho universytetu*, 24 (2). 165–174. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut\\_2016\\_24\(2\)\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut_2016_24(2)_23). [in Ukrainian].
2. Voitiuk, D.H., Baranovskyi, V.M.; Bulhakov, V.M. (2005). *Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku*. Kiev: Vyshcha osvita. [in Ukrainian].
3. Victor Sheichenko, Ihor Marynchenko, Ihor Dudnikov, Mykola Korchak (2019). Development of technology for the hemp stalks preparation. *Independent Journal of Management and Production*, 10 (7). 687–701. URL: <https://dx.doi.org/10.14807/ijmp.v10i7.913>. [in English].
4. Korchak, M.M.; Yermakov S.V. (2007). Doslidzhennia kharakteru zasmichenosti polia lystostebelnymy ta korenevymy zalyshkamy pislia zbyrannia kukurudzy. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho ahrarno-tekhnichnoho universytetu*, 15. 498–504. [in Ukrainian].
5. Korchak, M.M., Dudchak, T.V., Vilchynska, D.V. (2019). Teoretychne obgruntuvannya robochoho orhanu dlia vyrivniuvannya gruntu. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*, 1. 69–76. URL: [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-69-75](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-69-75). [in Ukrainian].
6. Korchak, M.M. (2011). Rezultaty osnovnykh polovykh eksperymentalnykh doslidzhen podribniuvacha roslynnykh zalyshkiv hrubosteblovykh kultur. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho ahrarno-tekhnichnoho universytetu*, 19. 531–542. URL: <http://188.190.33.55:7980/jspui/bitstream/123456789/3477/1/%D0%9FB-19-531-542.pdf>. [in Ukrainian].
7. Korchak, M.M. (2015). Obgruntuvannya enerhetychnykh pokaznykiv podribniuvacha roslynnykh zalyshkiv hrubosteblovykh kultur. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho ahrarno-tekhnichnoho universytetu*, 23. 103–125. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut\\_2015\\_23\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ZnpPdatut_2015_23_12). [in Ukrainian].
8. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Yermakov, S.V., Jakovenko, A.I. (2010). Ukraina 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]. Derzhavne pidpriumstvo «Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti» (Ukrpatent). [in Ukrainian].
9. Korchak, M.M., Bendera, I.M., Yermakov, S.V. (2010). Ukraina Patent № 90535, MPK A 01 V 49/02 (2006.01). Kombinovanyi podribniuvach roslynnykh zalyshkiv hrubosteblovykh kultur [Combined Shredder residues of crops]. Derzhavne pidpriumstvo «Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti» (Ukrpatent). [in Ukrainian].
10. Korchak, M., Yermakov, S., Maisus, V., Oleksiyo, S., Pukas, V., Zavadskaya, I. (2020). Problems of field contamination when growing energy corn as monoculture. *E3S Web of Conferences. Krynica, Poland. 6th International Conference – Renewable Energy Sources*, 154. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401009>. [in English].
11. Korchak, M., Grushetskiy, S. (2021). Teoretychne obgruntuvannya diskovogo robochoho orhanu dlia iakisnogo rozrizannia steblovykh zalyshkiv kukurudzy. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*, 2 (88). 25–36. [in Ukrainian].
12. Mykola Korchak, Serhii Yermakov, Taras Hutsol, Lesya Burko, Weronika Tulej. (2021). Features of weediness of the field by root residues of corn. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference*. Rezekne, Latvia. 1. 122 – 126. DOI: 10.17770/etr2021vol1.6541. [in English].
13. Korchak, M.M. (2022). Obgruntuvannya tekhnolohichnoho procesu rozpodilu steblovykh zalyshkiv na smugy obrobitku. *Materialy III Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii «Society and science. Problems and prospects»*, London, Angliia, 586 – 593. (DOI: 10.46299/ISG.2022.I.III). [in Ukrainian].
14. Bliznjuk, O., Masalitina, N., Mezentseva, I., Novozhylova, T., Korchak, M. (2022). Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2, 6(116), 13–18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253655>. [in English].

**THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE INFLUENCE OF THE MILLING ORGAN ON THE REDUCTION OF CORN PLANT RESIDUES**

*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  $n_{fr.bar} = 190 \dots 430$   $h\nu^{-1}$ , 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.*

**Key words:** *dynamic analysis, milling working body, technological parameters, plant residues of corn, grinding.*

**F. 24. Fig. 4. Ref. 14.**

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Корчак Микола Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії і системотехніки Подільського державного аграрно-технічного університету (вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, e-mail: korchak\_nikolay@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8726-1881>).

**Грушецький Сергій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії і системотехніки Закладу вищої освіти «Подільського державного університету» (вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, e-mail: g.sergiy.1969@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6434-1213>).

**Токарчук Олексій Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua <https://orcid.org/0000-0001-8036-1743>).

**Бабин Ігор Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: ihorbabyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7070-4957>).

**Mykola Korchak** - Ph.D., Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Systems Engineering Higher Educational Institution «Podillia State University» (St. Shevchenko, 13, Kamianets-Podilsky, Khmelnytsky region, 32316, e-mail: korchak\_nikolay@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8726-1881>).

**Sergii Hrushetskyi** – Ph.D., Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Systems Engineering Higher Educational Institution «Podillia State University» (St. Shevchenko, 13, Kamianets-Podilsky, Khmelnytsky region, 32316, e-mail: g.sergiy.1969@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6434-1213>).

**Oleksii Tokarchuk** – Ph.D., Associate Professor of the Department of “Technological Processes and Equipment of Processing and Food Productions” of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: tokarchuk@vsau.vin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-8036-1743>).

**Ihor Babyn** – Ph.D., Associate Professor of the Department of machinery and equipment for agricultural production of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: ihorbabyn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7070-4957>).