

УДК 631.353.7.001.41/42

РЕЗУЛЬТАТИ ВІДСЮЮЧОГО ТА ПОШУКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОДРІБНЮВАЧА РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ ГРУБОСТЕБЛОВИХ КУЛЬТУР*

Корчак М.М. к.т.н, доцент

Подільський державний аграрно-технічний університет

Определены результаты работы измельчителя, которые показали динамику влияния технологических параметров и режимов работы на качественные показатели.

Определено факторы, которые больше всего влияют на показатели качества работы измельчителя: глубина возделывания, частота вращения фрезерного барабана, скорость движения агрегата.

В результате обработки экспериментальных данных обоснованы рациональные значения режимов работы измельчителя, за которых обеспечивается максимальное значение степени крошения почвы, степени измельчения и степени заделывания растительных остатков.

Для обоснования привода экспериментальной установки измельчителя исследовано зависимость мощности на привод от его конструктивных параметров и режимов работы.

Job of cutter performances are certain, that showed a dynamics influence of technological parameters and office hours on high-quality indexes.

Certainly factors which most influence on the indexes of quality of work of cutter: depth of till, frequency of rotation milling a drum, rate of movement of aggregate.

As a result of working of experimental information the rational values of the modes of operations of cutter are grounded, which the maximal value of degree of chop up soil, degree of grinding down and degree of backfilling of vegetable tailings is provided for.

For the ground of occasion of the experimental setting of cutter probed dependence of power on drive from his structural parameters and office hours.

Постановка проблеми в цілому і зв'язок її з важливими науковими і практичними завданнями. Після збирання грубостеблових просапних культур важливе питання стоїть перед тим, як якісно провести обробіток ґрунту та підготувати поле під посів наступної культури, адже після збирання залишаються рослинні залишки, які потрібно вчасно і якісно заробити в ґрунт.

Обробіток полів, засмічених грубими рослинними рештками після збирання врожаю залишається проблемою, тому що: збільшилися посіви грубостеблових культур; кукурудзу вирощують переважно на зерно без подрібнення стебел при збиранні врожаю; під час збирання зернових культур на полі залишається висока стерня (більше 20 см); з'явилося багато занедбаних або невчасно оброблених полів, які без подрібнення стебел обробити неможливо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих механізованих технологій обробітку ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах України показує, що обробіток ґрунту після збирання грубостеблових культур проводять переважно важкими дисковими боронами та лушпильниками [1, 2], що призводить до негативних екологічних явищ, деградації структури ґрунту та зниження його родючості.

Крім того, одного обробітку стерні грубостеблових культур пасивними робочими

органами недостатньо, а повторне дискування або луцення потребує значних енергетичних витрат, витрат часу та коштів [3].

Теперішні технології передбачають окреме виконання подрібнення рослинних залишків на полі та основного обробітку ґрунту [4, 5].

За технологічним процесом та типами робочих органів засоби механізації обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур поділяють на дискові борони, лушильники, культиватори, фрези та комбіновані ґрунтообробні агрегати [6].

Вчені США розробили комбінований агрегат для обробітку ґрунту після збирання грубостеблових культур з подрібненням рослинних залишків (пат. США № 4522267 [7]), що складається з подрібнювача та чизельного культиватора. Привод здійснюється від ВВП трактора.

Для обробітку ґрунту після збирання грубостеблових культур у Південному відділенні УНДІМЕСГ створена комбінована фрезерна машина з активними і пасивними робочими органами, де основним робочим органом є двосекційний фрезерний барабан з двох'ярусним розміщенням ножів [8].

Відомий ґрунтообробний агрегат за а.с. 471075 [9], що містить фрезу, прикочувальний коток, пасивні робочі органи і регулюючий по висоті ротор з ножами, розміщеними між стійками пасивних робочих органів.

Розроблена ґрунтообробна машина за а.с. 523653 [10], що призначена для орієнтації рослинних залишків та подрібнення, складається з рами, опорних коліс з механізмом регулювання висоти, плоскорізальних робочих органів ножового ротора з горизонтальною віссю обертання, захисного кожуха та шлейф-волокуші. Привод роторів здійснюється від ВВП трактора.

Однак, існуючі комбіновані агрегати мають наступні недоліки:

- не повністю загортають подрібнені рослинні залишки в ґрунт;
- мають складну конструкцію та низьку технологічну надійність;
- маючи велику металомісткість, збільшують ущільнення ґрунту;
- не забезпечують екологічно чистої технології обробітку ґрунту.

Крім того, обробіток пасивними та активними робочими органами деяких подрібнювачів здійснюється на всю ширину захвату агрегату, що потребує додаткових затрат енергії. Агрегати не повністю пристосовані до деяких умов, які диктує стан аграрного сектору України (наприклад, такі умови як стан поля, можливість агрегатувати з тракторами нижчого класу, менші питомі витрати пального на обробіток тощо).

Перспективним напрямком удосконалення існуючих комбінованих агрегатів є зменшення енергетичних витрат на виконання технологічного процесу та кількості проходів, зменшення металомісткості їх конструкцій, підвищення їх продуктивності, забезпечення необхідного обробітку без шкідливого впливу на екологію.

Формування цілей статті. Метою даної публікації є аналіз відсіюючого та пошукових експериментальних досліджень розробленого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур.

Виклад основного матеріалу з повним обґрунтуванням отриманих результатів. В основу розробки поставлена задача створення машини для обробітку поля після збирання грубостеблових культур шляхом поєднання пасивних розподільників, що працюють у зонах міжрядь, з фрезерними секціями в зонах рядків, що дозволяє забезпечити якісне подрібнення

і загортання рослинних залишків по всьому фронту ширини захвату за один прохід агрегату; ефективне використання енергії, що витрачається на привод фрезерних барабанів, а тим самим досягти можливості збільшення ширини захвату агрегату та його продуктивності; залишити вирівняну поверхню поля.

У комбінованому подрібнювачі рослинних залишків грубостеблових культур, що містить раму, змонтовано фрезерні секції, розподільники, плоскі дискові ножі, прикочувальні котки та вирівнювальні щитки. Активні робочі органи розміщені лише на окремих ділянках – в зонах подрібнення (по рядках посіву). Подрібнення залишків по всьому фронту ширини захвату досягається за допомогою розподільників, які спрямовують розрізані стебла з міжрядь в зони подрібнення. Для втрамбування та ущільнення згорнених рослинних залишків позаду розподільників по рядках посіву встановлені прикочувальні котки. Для запобігання забиванню розподільників встановлені дискові ножі.

Завдяки тому, що подрібнення відбувається в зонах рядків, енергія на фрезерування використовується ефективно (не використовується на обробіток в міжряддях). Вирівнювання поверхні поля досягається спрямуванням ґрунту фрезерними секціями по різні боки за допомогою вирівнювальних щитків.



Рис. 1. Дослідний зразок подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур КФП – 2,8

Дослідний зразок комбінованого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур містить раму 1, на якій розташовані плоскі дискові ножі 2, розподільники 3, фрезерні секції 4, вирівнювальні щитки 5 та прикочувальні котки 6 (рис. 1).

Фрезерні секції 4 включають приводи, фрезерні барабани з Г-подібними ножами та вирівнювальні щитки 5. Розподільники 3 – це розпушувальні лапи з напрямними стінками, які розміщені перед фрезерними секціями в міжряддях. Попереду машини встановлені закріплені на рамі 1 опорні колеса 7.

При переміщенні машини вздовж рядків поля після збирання грубостеблових культур, розподільники 3 рухаються в міжряддях, транспортуючи розрізані стебла в зони подрібнення (до рядків), де вони подрібнюються ножами фрезерних секцій 4 і перемішуються з ґрунтом. Забиванню розподільників 3 грубими залишками запобігають плоскі дискові ножі 2, що перерізують довгі стебла. Завдяки цьому рослинні залишки потрапляють на напрямні стінки розподільників, якими вони переміщуються. Прикочувальні котки 6 працюють по рядках посіву, ущільнюючи рослинні залишки, які були спрямовані розподільниками з міжрядь. Фрезерні барабани працюють в зонах подрібнення. Ґрунт і рослинні залишки, що

відкидаються ножами, за допомогою напрямних ребер вирівнювальних щитків 5 розподіляються по фронту руху агрегату, вирівнюючи поверхню поля.

Запропонована схема комбінованого подрібнювача рослинних залишків грубостеблових культур зменшує енерговитрати на обробіток, що дозволяє збільшити ширину захвату агрегату, підвищити його продуктивність, поліпшити показники якості обробітку, сприяє надійній роботі машини.

Для проведення пошукових експериментальних досліджень було враховано можливість встановлення необхідних датчиків та можливості зміни рівнів факторів за допомогою набору змінних деталей, позиційного встановлення окремих вузлів, а також введення дросельного управління гідроприводом подрібнювача.

Вибір елементів гідроприводу проводили виходячи із необхідної швидкості руху подрібнювача та розрахункової потужності на його привод. Після проведених розрахунків було прийнято наступні елементи гідроприводу (рис. 2): регулюючий пристрій 1 – дросель-витратомір ДР-70, 2 і 3 – датчики тиску тензометричні типу ТДД-100 та ТДД-200; силова установка 4 – гідромотор планетарний МГП-80.



Рис. 2. Елементи гідроприводу подрібнювача

4. Вигляд експериментального подрібнювача в транспортному положенні зображено на рис. 3. Привод фрезерних секцій подрібнювача здійснюється як від ВВП, так і від гідросистеми трактора.



Рис. 3. Подрібнювач КФП – 2,8 в транспортному положенні

Новизну технічних рішень підтверджено деклараційними патентами України: № 29342, № 31514, № 33819, № 33829, № 90538А, № 90535А [11–16].

Планування відсіюючого експерименту. Відсіюючий експеримент проводили на початковій стадії дослідження подрібнювача з метою виключення малозначущих факторів для скорочення послідувочої кількості дослідів.

Суть експерименту полягає в тому, що, коли фактори розташувати в порядку зменшення долі, яку вносять в дисперсію критерію оптимізації, виникає ранжований ряд, що має вигляд зменшувальної експоненти.

Побудову ранжованого ряду проводили в два етапи. На початку проводили серію дослідів за складеною матрицею, а потім будували діаграму розсіювання для візуальної оцінки ступеню впливу факторів і оцінювали його кількісно. Перед побудовою матриці відсіюючого експерименту назначали рівні варіювання факторами і кодували їх знаками (+) та (-).

При побудові матриці відсіюючого експерименту методом випадкового змішування двох напівреплік, фактори, які розглядаються діляться на дві частини і з кожної частини будують напіврепліки. Для одної половини факторів напіврепліка використовується повністю, а для других факторів строки матриці розподіляються по таблиці випадкових чисел. При цьому в першу половину слід розмістити ті фактори, які по апріорній інформації є найбільш вагомими. Це скорочує об'єм експериментів в послідувочій стадії вирішення експериментальної задачі. Число дослідів (строк) в матриці відсіюючого експерименту вибирали кратним $2k$ і більшим числа $k+1$, де k – число факторів. Ця умова полегшує опрацювання і покращує аналіз результатів дослідів.

При складанні плану експерименту виділяли основні фактори, які впливають на досліджуваний процес, а також вибирали параметр оптимізації.

На основі проведеного аналізу результатів експериментальних досліджень засобів механізації та теоретичного дослідження подрібнювача, для проведення експериментальних досліджень були прийняті наступні змінні фактори, які в найбільшій мірі впливають на параметр оптимізації: частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар}$, швидкість руху подрібнювача V_n , кут розкриття напрямних стінок розподільника 2α , кут нахилу вирівнювального щитка до ґрунтової поверхні α та глибина обробітку $H_{фр}$.

Вимірювання параметра оптимізації (ступеня подрібнення рослинних залишків) проводили у трьохкратній повторності.

На експериментальному зразку подрібнювача вивчався вплив різних факторів на робочий процес. Перелік взятих на облік факторів та їх рівнів зміни, показаний в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні та інтервали зміни факторів

Параметри	Глибина обробітку, $H_{фр}$, см	Частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар}$, $хв.^{-1}$	Швидкість руху агрегату V_n , м/с	Кут розкриття напрямних стінок розподільника, 2α , град	Кут нахилу вирівнювального щитка до ґрунтової поверхні α , град
Умовні позначення	X1	X2	X3	X4	X5
Верхній рівень (+1)	8,0	450	2,5	90	35
Нижній рівень (-1)	4,0	190	1,5	65	25

З метою скорочення загального об'єму дослідів ставили відсіюючий експеримент. Матрицю планування відсіюючого експерименту з п'яти факторів будували шляхом змішування систематичних дробних реплік від повного факторного експерименту (табл. 2).

Таблиця 2

Матриця відсіюючого експерименту

№	Фактор в кодовому позначенні				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
1	-	-	-	+	+
2	+	-	-	-	+
3	-	+	-	+	-
4	+	+	-	-	-
5	-	-	+	-	-
6	+	-	+	+	-
7	-	+	+	+	+
8	+	+	+	-	+

За результатами середніх значень будували діаграму розсіювання результатів спостережень по рівнях факторів.

Ступінь впливу фактора оцінювали за діаграмою розсіювання візуально, за різницею між середніми значеннями для рівнів (в якості середнього брали медіану значень) і за кількістю точок, що виділялися.

Ефекти факторів кількісно оцінювали за допомогою таблиць з двома входами. В клітинках записували фактори, які оцінюються з рівнями варіювання і результати дослідів (значення критерію оптимізації, отриманого в тому чи іншому поєднанні рівнів факторів). Величина ефектів факторів x_i :

$$x_i = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \dots + \bar{y}_n}{k_i} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \dots + \bar{y}_{n+1}}{k_i}, \quad (1)$$

де $\bar{y}_1, \bar{y}_3, \bar{y}_5, \dots, \bar{y}_n$ – середні значення параметра оптимізації в кожній клітинці таблиці для рівня фактора (+);

$\bar{y}_2, \bar{y}_4, \bar{y}_6, \dots, \bar{y}_{n+1}$ – середні значення параметра оптимізації в кожній клітинці таблиці для рівня фактора (-);

k_i – число середніх значень параметра оптимізації \bar{y}_n .

Після розрахунку ефектів виділених факторів перевіряли їх значимість по t -критерію, який визначався за формулою:

$$t = \frac{(\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \dots + \bar{y}_n) - (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \dots + \bar{y}_{n+1})}{S_R \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}}, \quad (2)$$

де S_R – середньоквадратична похибка розсіювання.

Значення S_R визначали за формулою:

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (3)$$

де n_i – кількість спостережень в i -й клітині таблиці з декількома входами.

Обчислення t -критерію проводили звівши усі результати у таблицю.

Після виявлення ефектів декількох факторів коректували результати відсіюючих експериментів для чіткішого виділення ефектів менш сильних факторів і парних взаємодій. Коректування проводили додаванням з протилежним знаком ефектів виділених факторів до результатів відсіюючих експериментів. При відсіючому експерименті дається груба, наближена оцінка впливу факторів.

Математичний метод планування експерименту. Визначальними параметрами досліджень математичного методу планування експериментів [17] були потужність на привод фрезерного барабана Y_1 та тяговий опір подрібнювача Y_2 в залежності від технологічних режимів – глибини обробітку X_2 і швидкості руху X_1 експериментальної установки. Математична модель представляється у вигляді полінома. Для двофакторного дослідження повне квадратне рівняння має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2 \quad (4)$$

Неповне квадратне рівняння вийде з рівності (3.20) при $b_{11} = b_{22} = 0$:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (5)$$

X_1 набуває значення від – перша робоча X_1^- до третя робоча X_1^+ км/год., а X_2 – від X_2^- до X_2^+ см. Експлуатаційні показники визначались у формі неповного квадратного рівняння [формула (5)].

Проведено кодування факторів для переведення натуральних факторів у безрозмірні величини з метою побудови плану-матриці експерименту. Зв'язок між кодovими x_i і натуральними X_i , значеннями факторів знаходили за формулою:

$$x_i = \frac{(X_i - X_{i0})}{\Delta X_i} \quad (6)$$

де X_i – натуральне значення i -го фактора;

X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Кодування факторів представлено даними табл. 3, у якій інтервали варіювання були прийняті за фактором $X_1 \Delta X_1 = V$ км/год., а за фактором $X_2 \Delta X_2 = H$ см. Після кодування факторів склали план-матрицю експерименту для чотирьох дослідів ($n = 2^2 = 4$). При цьому дослід № 1 представив собою сукупність x_1 і x_2 на нижньому рівні; дослід № 2 – сукупність x_1 на верхньому, а x_2 на нижньому рівні; дослід № 3 – сукупність x_1 на нижньому, а x_2 на верхньому рівні; дослід № 4 – x_1 і x_2 на верхньому рівні. План-матриця представлена у табл. 4.

Таблиця 3

Результати кодування факторів

Фактор, одиниця виміру	Нату-ральне позна-чення	Кодоване позна-чення	Інте-вал варію-вання	Рівні варіювання натуральні			Рівні варіювання кодовані		
				верхній	нижній	нульовий	верхній	нижній	нульовий
Швидкість руху, км/год.	X_1	x_1	1	6(V ⁺)	4(V)	5(V ⁰)	+1	-1	0
Глибина обробітку, см.	X_2	x_2	2	8(H ⁺)	4(H)	6(H ⁰)	+1	-1	0

Для визначення послідовності проведення дослідів проводили рандомізацію. Установили випадковий порядок постановки дослідів у часі, для чого скористалися таблицями випадкових величин. Одержали наступну послідовність проведення дослідів: перша повторність – 2, 3, 1, 4; друга повторність – 2, 1, 3, 4; третя повторність – 3, 2, 4, 1.

Таблиця 4

План-матриця ПФЕ 2²

Номер дослідів (точка плану) k	Значення кодованих факторів		Взаємодія кодованих факторів
	x_1	x_2	x_1x_2
1	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1

Одержані дослідні дані були перевірені на їхню відтворюваність. При однаковому числі повторностей для кожного дослідів (для кожної точки плану) перевірка проводилась за критерієм Кохрена.

При перевірці відтворюваності застосовувалася умова:

$$G \leq G(0.05; n; f_k), \quad (7)$$

де

$$G = \frac{s_{k_{\max}}^2}{\sum_{k=1}^n s_k^2}. \quad (8)$$

Тут s_k^2 – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів у k -му досліді, тобто на k -му сполученні рівнів факторів, а $s_{k_{\max}}^2$ – найбільша з цих дисперсій. Дисперсію s_k^2 знаходили за формулою:

$$s_k^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i_k=1}^{m_0} (y_{ki_k} - \bar{y}_k)^2, \quad (9)$$

де i_k – номер повторності;

y_{ki_k} – вихідний параметр при i_k -й повторності.

Дисперсію відтворюваності s_y^2 визначали за формулою:

$$s_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n s_k^2. \quad (10)$$

У зв'язку з тим, що розглянутий процес відтворюється, були обчислені коефіцієнти рівняння регресії. Вище зазначалося, експлуатаційні показники визначалися у формі неповного квадратного рівняння [формула (5)], тому за даними результатів знаходили коефіцієнти b_0 , b_1 , b_2 та b_{12} :

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \bar{y}_k; \\ b_i &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik} \bar{y}_k; \\ b_{ij} &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik} x_{jk} \bar{y}_k; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

де n – число точок плану (число дослідів, $n = 4$);

\bar{y}_k – середнє арифметичне значення вихідного параметра в k -му досліді;

x_{ik} – значення i -го кодового фактора в рядку матриці в k -му досліді;

x_{jk} – значення j -го кодового фактора в рядку матриці в k -му досліді.

Визначення домінуючих факторів через відсіюючий експеримент. Для вивчення агротехнічних та енергетичних показників роботи експериментальної установки подрібнювача у відповідності із методикою проведення дослідів після збирання кукурудзи на дослідному полі Інституту механізації і електрифікації сільського господарства Подільського державного аграрно-технічного університету були проведені лабораторно-польові дослідження.

Згідно методики експериментальних досліджень з метою зменшення трудомісткості та збільшення ефективності досліджень основним дослідженням передували відсіюючі експерименти.

В ході підготовки до проведення відсіюючих експериментальних досліджень була перевірена працездатність та надійність конструкції експериментальної установки та визначені допустимі конструктивні параметри та режими роботи подрібнювача.

Вимірювання параметра оптимізації (коефіцієнта подрібнення рослинних залишків) проводились у трьохкратній повторності (табл. 5).

Таблиця 5

Результати відсіюючого експерименту

№	Фактор в кодовому позначенні					Значення параметра оптимізації			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y
1	–	–	–	+	+	0,4896	0,4794	0,4869	0,4853
2	+	–	–	–	+	0,7696	0,7539	0,7776	0,7738
3	–	+	–	+	–	0,6077	0,6136	0,6179	0,6131
4	+	+	–	–	–	0,9594	0,9671	0,9767	0,9676
5	–	–	+	–	–	0,8566	0,8655	0,8429	0,8550
6	+	–	+	+	–	0,5771	0,5687	0,5837	0,5765
7	–	+	+	+	+	0,5870	0,5921	0,5746	0,5846
8	+	+	+	–	+	0,9877	0,9745	0,9786	0,9803

Дані таблиці 5 свідчать про те, що подрібнення рослинних залишків відбувається досить активно, досягаючи максимального значення 0,98 %.

За результатами середніх значень побудована діаграма розсіювання (рис. 4). За діаграмою розсіювання візуально оцінювався ступінь впливу фактора, за різницею між

середніми значеннями для рівнів і за кількістю точок, що виділяються [18]. Ефекти факторів кількісно оцінювались за допомогою таблиць з двома входами (табл. 6).

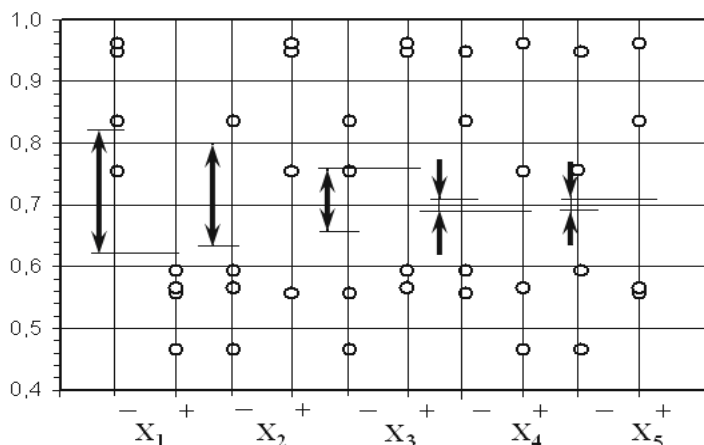


Рис. 4. Діаграма розсіювання результатів спостережень по рівнях факторів

Таблиця 6

Таблиця з двома входами для обчислення ефектів факторів X_1 та X_2

Оцінюваний фактор	+ X_1	- X_1
+ X_2	0,6131	0,4853
	0,5846	0,5765
	$\sum y_i = 1,1977$ $\bar{y}_1 = 0,5988$	$\sum y_i = 1,0618$ $\bar{y}_1 = 0,5309$
- X_2	0,9676	0,7738
	0,9803	0,8550
	$\sum y_i = 1,9479$ $\bar{y}_1 = 0,9739$	$\sum y_i = 1,6288$ $\bar{y}_1 = 0,8144$

Результати розрахунку t -критерію для факторів X_1 , X_2 та X_3 наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Таблиця для розрахунку t -критерію

№ клітинки	$\sum y_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	n_i	S_R^2	$\frac{S_R^2}{n_i}$
1	1,1977	1,4344	0,7172	2	0,001309	0,00065
2	1,9479	3,7943	1,8971	2	0,006261	0,00313
3	1,0618	1,1274	0,5637	2	0,000062	0,00003
4	1,6288	2,6529	1,3264	2	0,003416	0,00170

Після виявлення ефектів декількох факторів проводили коректування результатів відсіюючих експериментів для того, щоб чіткіше виділити ефекти інших, менш сильних факторів і парних взаємодій. Коректування проводили шляхом додавання з протилежним знаком ефектів виділених факторів до результатів відсіюючих експериментів (табл. 8).

Таблиця 8

Відкоректовані результати відсіюючого експерименту

№	Фактор в кодовому позначенні					Значення параметра оптимізації
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
1	-	-	-	+	+	0,69264
2	+	-	-	-	+	0,98111
3	-	+	-	+	-	0,58326
4	+	+	-	-	-	0,93792
5	-	-	+	-	-	0,78694
6	+	-	+	+	-	0,50844
7	-	+	+	+	+	0,75366
8	+	+	+	-	+	0,94452

Аналіз відкоректованих результатів показує, що крім виділених факторів X₁ та X₂ досить високий вплив на параметр оптимізації має ще й фактор X₃, а також парні взаємодії факторів X₁X₂ та X₂X₃.

Отже, при плануванні та проведенні повного факторного експерименту, слід враховувати, що найбільший вплив на ступінь подрібнення рослинних залишків мають глибина обробітку – $H_{фр}$, частота обертання фрезерного барабана – $n_{фр.бар.}$, швидкість руху агрегату V_n та парні взаємодії цих факторів.

Результати впливу технологічних параметрів подрібнювача на якість роботи. Після проведення попередніх відсіюючих експериментів відповідно до методики проведення досліджень після збирання кукурудзи на дослідному полі ПДАТУ були проведені польові дослідження (рис. 5). В результаті складено акти проведення досліджень.

Показниками якісної роботи подрібнювача є: ступінь кришення ґрунту, ступінь подрібнення та ступінь заробки рослинних залишків. Для виробітку рекомендацій по оптимальним і допустимим режимам роботи подрібнювача по критеріям кришення ґрунту, подрібнення та заробки рослинних залишків були проведені дослідження впливу на них глибини обробітку, швидкості руху та частоти обертання фрезерного барабана.

Відповідно агровиимог рівень агропуску по кришенню знаходиться в межах 71 – 90 % [19]. Межі варіювання факторів вибирались по умові реально можливих режимів роботи і по даним попередніх дослідів.

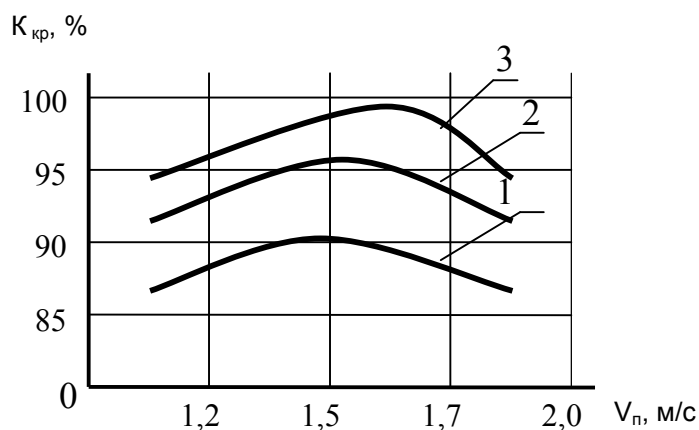


Рис. 5. Експериментальна установка подрібнювача під час проведення польових досліджень

Дослідні дані залежності ступеня кришення ґрунту та ступеня подрібнення рослинних залишків від поступальної швидкості подрібнювача апроксимуються квадратичними залежностями.

Аналіз дослідних даних показав, що ступінь кришення ґрунту збільшується в залежності від частоти обертання фрезерного барабана і для кожної передачі досягає максимуму при відповідному значенні. Так, при глибині фрезерування $H_{фр} = 8$ см і вологості $W = 17,4$ % для поступальних швидкостей $V = 1,0$ м/с; $V = 1,5$ м/с; $V = 2,0$ м/с оптимальна частота обертання становить $n_{фр.бар.} = 290$ хв⁻¹; $n_{фр.бар.} = 320$ хв⁻¹; $n_{фр.бар.} = 360$ хв⁻¹.

Збільшення поступальної швидкості в певних межах створює покращення кришення ґрунту. Але в цьому випадку також спостерігається оптимальна зона поступальної швидкості (рис. 6).



1 – $H_{фр} = 4$ см; 2 – $H_{фр} = 6$ см; 3 – $H_{фр} = 8$ см; $n_{фр.бар.} = 340$ хв⁻¹; $W = 17,4$ %

Рис. 6. Залежність ступеня кришення ґрунту $K_{кр}$ від поступальної швидкості подрібнювача V_n

При частоті обертання фрезерного барабану $n_{фр.бар.}=340 \text{ хв}^{-1}$ оптимальна швидкість рівна $V = 1,6 \text{ м/с}$. З графіка видно, що ступінь кришення залежить від глибини фрезерування. При збільшенні глибини кришення ґрунту покращується.

Проведені дослідження дозволили вибрати межі варіювання факторів: частота обертання $n_{фр.бар.} = 240 - 430 \text{ хв}^{-1}$, робоча швидкість $V = 1,0 - 2,2 \text{ м/с}$, глибина фрезерування $H_{фр} = 2 - 8 \text{ см}$.

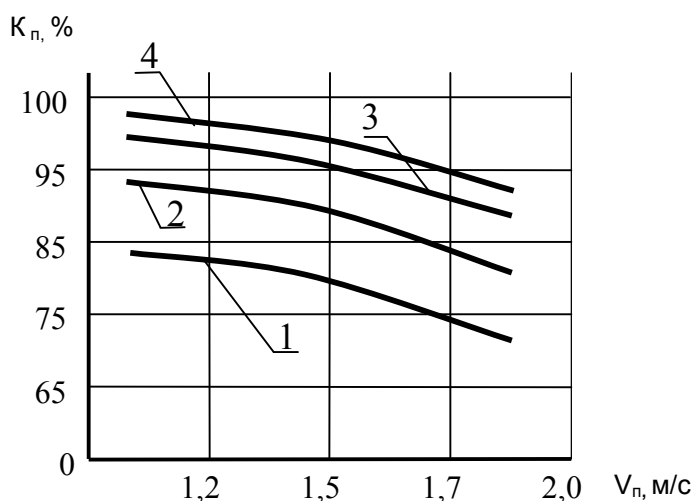
Таким чином, на ступінь кришення ґрунту найбільш інтенсивно впливає частота обертання фрезерного барабана.

Для створення нормального режиму ґрунту необхідно забезпечити подрібнення рослинних залишків та їх заробку. У комбінованому подрібнювачі це питання вирішується завдяки наявності фрезерних секцій та їх високій обертовій здатності.

Ступінь подрібнення та заробки рослинних залишків залежить в основному від кінематичного режиму роботи (частоти обертання фрезерного барабана і поступальної швидкості), а також глибини обробітку.

Спостерігається пряма залежність ступеня подрібнення та ступеня заробки рослинних залишків від частоти обертання фрезерного барабана (рис. 7, рис. 8) – максимальна, а в більшості випадків повне подрібнення та заробка органічної маси спостерігались для кожної швидкості руху при відповідній частоті обертання. Оптимальне значення частоти обертання по ступеню подрібнення, ступеню заробки та ступеню кришення ґрунту практично знаходяться в одних межах. Зниження ступеня заробки органічної маси після перевищення оптимального значення частоти обертання фрезерного барабана не спостерігалось і знаходилось на одному (максимальному) рівні. Це пояснюється тим, що навіть при зниженні активності взаємодії ножів фрезерного барабана з пластом при переході оптимальної зони, кінетична енергія подрібненого пласта достатня для часткового покриття частинками ґрунту рослинних залишків.

Ступінь заробки органічної маси в функції від поступальної швидкості подрібнювача апроксимується прямими математичними залежностями.

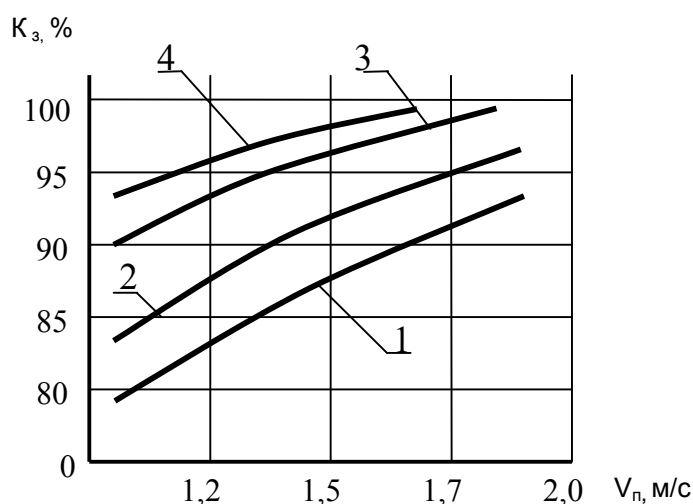


1 – $H_{фр} = 2 \text{ см}$; 2 – $H_{фр} = 4 \text{ см}$; 3 – $H_{фр} = 6 \text{ см}$; 4 – $H_{фр} = 8 \text{ см}$; $n_{фр.бар.} = 430 \text{ хв}^{-1}$; $W = 17,4 \%$

Рис. 7. Залежність ступеня подрібнення рослинних залишків K_n від поступальної швидкості подрібнювача V_n

Аналізуючи графік (рис. 8), бачимо, що збільшення поступальної швидкості агрегату в певних межах покращує ступінь заробки рослинних залишків. На глибині 8 см. задовільна заробка спостерігається при більших швидкостях руху.

Енергетична оцінка роботи подрібнювача. Для визначення впливу експлуатаційних параметрів – робочої швидкості подрібнювача, частоти обертання фрезерного барабана і глибини фрезерування на енергетичні показники були проведені польові досліді з використанням тензообладнання, встановленого на польовій установці.



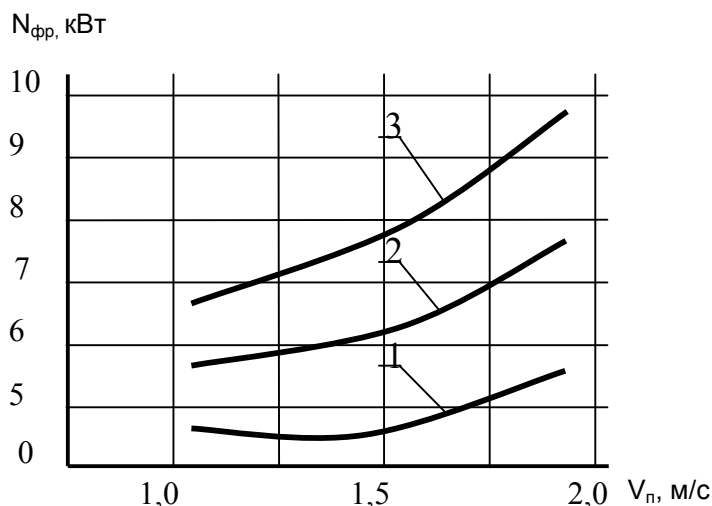
1 – $H_{\text{фр}} = 2$ см; 2 – $H_{\text{фр}} = 4$ см; 3 – $H_{\text{фр}} = 6$ см; 4 – $H_{\text{фр}} = 8$ см;
 $n_{\text{фр.бар.}} = 430 \text{ хв}^{-1}$; $W = 17,4 \%$

Рис. 8. Залежність ступеня заробки рослинних залишків K_z від поступальної швидкості подрібнювача V_p

Таким чином по результатам тензометрування фрези отримані енергетичні показники.

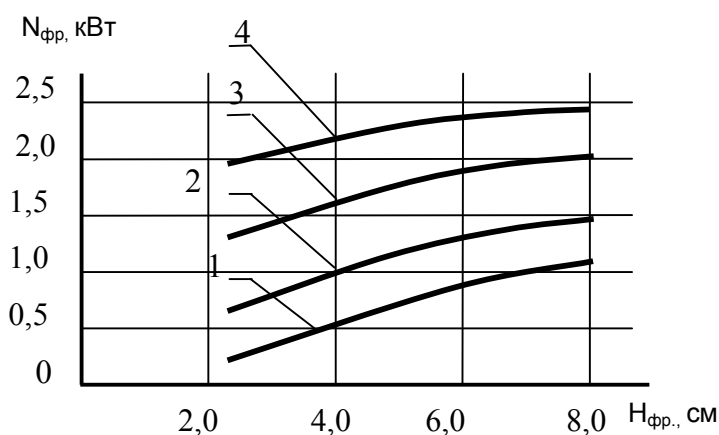
Потужність на привод фрези залежить від кінематичного режиму роботи і глибини фрезерування. Збільшення необхідної потужності на привод фрези при збільшенні глибини обробітку пояснюється зростанням кількості ґрунту, що поступає на фрезу (висота стружки).

Залежність потужності на привод фрезерного барабана від поступальної швидкості та глибини обробітку зображено на рис. 9 та 10. Максимальне значення потужності при максимальних агротехнічно допустимих значеннях поступальної швидкості, частоті обертання фрезерного барабана і глибині не перевищує 2,4 кВт.



1 – $H_{fr} = 4$ см; 2 – $H_{fr} = 6$ см; 3 – $H_{fr} = 8$ см; $n_{фр.бар.} = 430 \text{ хв}^{-1}$; $W = 17,4 \%$

Рис. 9. Залежність потужності на привод фрезерних барабанів $N_{фр}$ заг. від поступальної швидкості подрібнювача V_n



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;
 $n_{фр.бар.} = 430 \text{ хв}^{-1}$; $W = 17,4\%$

Рис. 10. Залежність потужності на привод фрезерного барабана $N_{фр}$ від глибини фрезерування $H_{фр}$

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.

При швидкостях руху V_n експериментальної установки подрібнювача 1,11 м/с, 1,58 м/с, 1,83 м/с, 2,17 м/с, 2,56 м/с тяговий опір $R_{аер}$ становив 4,586 кН, 5,214 кН, 6,104 кН, 6,948 кН, 8,247 кН відповідно.

Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача R_{agr} від поступальної швидкості V_n та глибини обробітку $H_{фр}$ зображено на рис. 11 та 12.

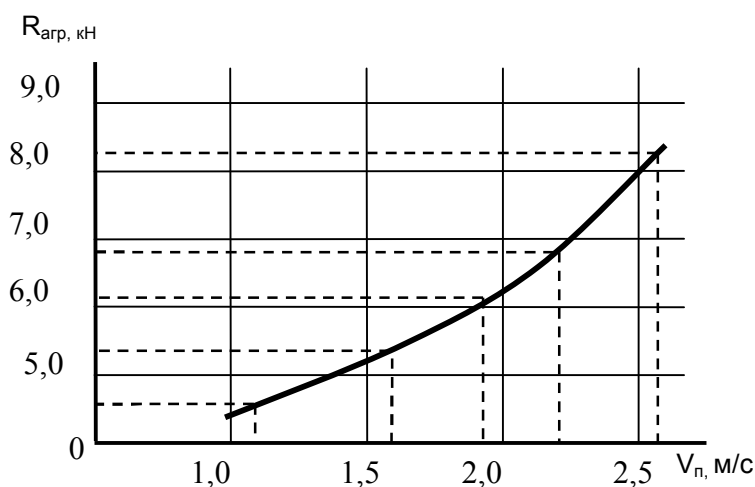
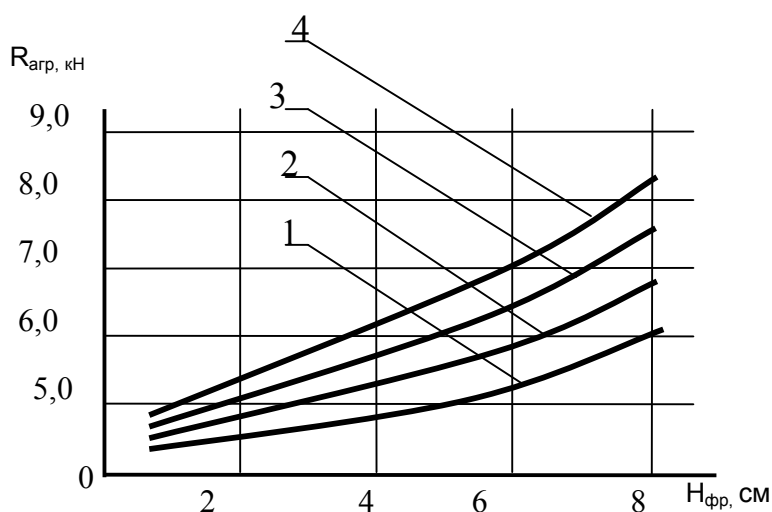


Рис. 11. Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача R_{agr} від поступальної швидкості V_n : $H_{фр} = 8$ см; $n_{фр.бар} = 430$ хв⁻¹



1 – $V_n = 1,0$ м/с; 2 – $V_n = 1,5$ м/с; 3 – $V_n = 2,0$ м/с; 4 – $V_n = 2,4$ м/с; $n_{фр.бар} = 430$ хв⁻¹

Рис. 12. Залежність тягового опору експериментальної установки подрібнювача R_{agr} від глибини обробітку $H_{фр}$

Висновки і пропозиції. 1. Аналіз існуючих механізованих технологій обробітку ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах України показав, що обробіток ґрунту після збирання грубостеблових культур проводять переважно дисковими боронами та лушчильниками, що призводить до негативних екологічних явищ, деградації структури ґрунту та зниження його родючості. Крім того, одного обробітку стерні грубостеблових культур пасивними робочими

органами недостатньо, а повторне дискування або луцення пов'язане із значними енергетичними витратами, витратами часу та коштів;

2. Проаналізовані наукові розробки комбінованих подрібнювачів рослинних залишків грубостеблових культур.

3. Створена нова технологія обробітку ґрунту, засміченого рослинними залишками грубостеблових культур та комбінований подрібнювач для її реалізації з оптимально обґрунтованою конструкцією, яка дає змогу забезпечити якісний енергоощадний та економний обробіток, а також підвищити родючість ґрунту шляхом подрібнення та заробки рослинних залишків, які є важливою органічною сировиною для відтворення гумусу.

4. Визначені результати роботи подрібнювача, що показали динаміку впливу технологічних параметрів та режимів роботи на якісні показники.

5. Визначено фактори, які найбільше впливають на показники якості роботи подрібнювача: глибина обробітку $H_{фр.}$, частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар.}$, швидкість руху агрегату V_a .

6. В результаті відсіюючого та пошукових експериментів (рис. 4 та рис. 6–9) отримано результати впливу робочих, конструктивних і експлуатаційних параметрів подрібнювача на агрономічні та енергетичні показники, які дозволили отримати межі реально можливих значень глибини обробітку, поступальної швидкості агрегату і частоти обертання фрезерного барабана.

7. Опрацювавши експериментальні дані обґрунтовано раціональні значення режимів роботи подрібнювача: глибина обробітку $H_{фр.} = 6 - 8$ см, частота обертання фрезерного барабана $n_{фр.бар.} = 275...450$ хв⁻¹, швидкість руху агрегату $V_a = 4,5...6,5$ км/год, за яких забезпечується максимальне значення ступеня кришення ґрунту $K_{кр} = 96 - 98\%$, ступеня подрібнення рослинних залишків $K_{п} = 96 - 98 \%$ та ступеня заробки рослинних залишків $K_3 = 98 - 99 \%$.

8. Для обґрунтування приводу експериментальної установки подрібнювача досліджено залежність потужності на привод від його конструктивних параметрів та режимів роботи. Встановлено, що в області раціональних режимів роботи подрібнювача потужність на його привод N_n становить 8,5...9,5 кВт.

Література

1. Циков В.С. Интенсивная технология возделывания кукурузы / Циков В.С., Матюха Л.А. – М. : Агропромиздат, 1989. – 247 с.
2. Рубін С.С. Загальне землеробство / Рубін С.С. – К. : Вища шк.: Гол. вид-во, 1976. – 432 с.
3. Панов И.М. Основные пути снижения энергозатрат при обработке почвы / И.М. Панов, Н.М. Орлов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – № 8. – С. 27–30.
4. Индустриальная технология производства кукурузы / Тудель В.Н., Шабала Н.А. [и др.]. – М. : Россельхозиздат, 1983. – 318 с.
5. Мельник І. Комплексна механізація виробництва соняшнику / І. Мельник, В. Гречко-сій, В. Марченко // Пропозиція . – 2004. № 11. – С. 40–41.
6. Антонов А.П. Комбинированные сельскохозяйственные агрегаты. Альбом-справочник / Антонов А.П., Кабаков Н.С., Щербина П.А., Гаврюшин В.И. – М. : Россельхозиздат, 1975. – 183 с.
7. Пат. 4522267, США, МКИ А01В 49/04. Shredder / plow combination / Lew son Richard A., Ronald D. Wetherell. – № 448937; Заявл. 13.12.82; Оpubл. 11.06.85; НКІ 172/28.

8. Кочев В.И. Комбинированные почвообрабатывающие машины / В.И. Кочев // Техника в сельском хозяйстве. – 1979 – № 12. – С. 13–14.
9. А.с. 471075, СССР, МКИ А01В49/02. Почвообрабатывающий агрегат / Спирин А.П., Яцук Е.П., Марченко О.С., Грицик М.И., Никонов П.К., Боронихин Г.И., Орлов В.П., Поляков А.Г., Пархоменко В.А., Шестопапов В.Г., Тарасов В.П. – № 1913771; заявл. 26.04.73; опубл. 25.05.75, Бюл. № 19.
10. А.с. 523653, СССР, МКИ А01В49/02, А01В31/00. Почвообрабатывающая машина / Жук А.Ф., Кабаков Н.С., Гогунский Г.Г., Гильштейн П.М., Сонис З.Г., Марченко О.В., Холяво Ч.А., Кирюхин В.Г., Панов И.М. – № 1907397; заявл. 13.04.73; опубл. 05.08.76, Бюл. № 29.
11. Пат. 29342, Україна, МПК А 01 В 33/00. Фрезерний подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Говоров О.Ф. – № u200710230; заявл. 14.09.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.
12. Пат. 31514, Україна, МПК А 01 В 33/00. Подрібнювач кореневих та листостеблових залишків / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В., Говоров О.Ф. – № u200714212; заявл. 18.12.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.
13. Пат. 33829, Україна, МПК А 01 В 33/00. Комбінований культиватор-подрібнювач / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. – № u200803382; заявл. 17.03.2008; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.
14. Пат. 33819, Україна, МПК А 01 В 33/00 Комбінований фрезерний культиватор-подрібнювач рослинних залишків грубостеблових культур / Корчак М.М., Бендера І.М., Єрмаков С.В. – № u200803323; заявл. 17.03.2008; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.
15. 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. – № a2008 04264; заявл. 04.04.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
16. 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. – № a2008 03070; заявл. 11.03.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. / Доспехов Б.А. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
18. Налимов В.В. Статистические методы планирования экспериментов / Налимов В.В. – М. : Наука, 1970. – 378 с.
19. Орманжи К.С. Правила производства механизированных работ в полеводстве / К.С. Орманжи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Россельхозиздат, 1983. – 285 с.