

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗОРЯ МИХАЙЛО ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 631.331:631.319.2

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
І РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО ЗНАРЯДДЯ
ДЛЯ БОРОЗЕННО-СМУГОВОГО ПОСІВУ КУКУРУДЗИ**

05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент **Скляр Олександр Григорович**,
Таврійський державний агротехнологічний університет,
перший проректор

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, академік НААН України,
Заслужений винахідник України **Булгаков Володимир Михайлович**,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
професор кафедри механіки та опору матеріалів

кандидат технічних наук, доцент **Волик Борис Анатолійович**,
Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет,
доцент кафедри сільськогосподарських машин

Захист відбудеться «30» жовтня 2015 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 18.819.01 у Таврійському державному
агротехнологічному університеті за адресою: 72310, Запорізька область,
м. Мелітополь, проспект Б. Хмельницького, 18

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Таврійського державного
агротехнологічного університету за адресою: 72310, Запорізька область,
м. Мелітополь, проспект Б. Хмельницького, 18

Автореферат розісланий «29» вересня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.П. Назаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом на півдні України все інтенсивніше зростають площі посівів кукурудзи, як однієї із найбільш урожайних сільськогосподарських культур. Згідно з агротехнічними вимогами, її сівбу розпочинають у стабільно прогрітій (до 10–12 °С) і обов'язково вологий ґрунт. Водночас, у посушливих умовах дуже часто оптимальна вологість ґрунту формується на глибині, яка перевищує глибину загортання насіння кукурудзи та інших просапних культур. Саме тому, під час сівби насіння у несприятливі ґрунтові умови затягується строк появи сходів культурних рослин, що в кінцевому рахунку призводить до зменшення їх урожайності.

У період догляду за сходами кукурудзи технологічні операції міжрядного обробітку ґрунту, а також внесення ґрунтових гербіцидів здійснюються різними машинно-тракторними агрегатами (МТА). Більше того, виконання цих технологічних операцій проводиться із певним (іноді суттєвим) розривом у часі. Так, для максимального пригнічення і знищення бур'янів гербіциди зазвичай вносять до або зразу ж після сівби кукурудзи. Міжрядні обробітки сходів проводять, починаючи з фази 5–7 листочків цієї культури. У результаті зростає ущільнювальний вплив ходових систем тракторів та сільськогосподарських машин/знарядь на ґрунт, суттєво збільшуються питомі витрати палива МТА, експлуатаційні витрати тощо.

Вищезначені проблеми обумовлені відсутністю таких машин/знарядь, які могли б забезпечити посів кукурудзи у вологозабезпечений шар ґрунту, а також здійснити розпушення міжрядь з одночасним якісним локальним внесенням гербіцидів у ґрунт. Потенційно ці технологічні операції можна реалізувати одночасно шляхом застосування відповідного комбінованого знаряддя. Водночас, методичні підходи до обґрунтування параметрів і режимів роботи таких машинно-тракторних агрегатів ні наукою, ні практикою ще не розроблені.

Все це породжує науково-технічну задачу, суть якої полягає в установленні тих наукових закономірностей, які дозволяють обґрунтовано поєднати в одній конструкції робочі органи для сівби кукурудзи, агрохімічного та механічного обробітку ґрунту, а також встановити бажаний режим одночасного виконання цих технологічних операцій. У зв'язку із зазначеним, обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи комбінованого знаряддя для борозенно-смугового посіву кукурудзи є важливою науково-прикладною задачею, а тема досліджень у цьому напрямі – актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувались у Таврійському державному агротехнологічному університеті відповідно до планів наукових досліджень за підпрограмою 1.1 «Розробка наукових основ технологічного і технічного забезпечення виробництва сільськогосподарських культур в умовах півдня України», яка є складовою науково-технічної програми №1 «Розробка наукових систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України» (державний реєстраційний номер №0102U000676).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення техніко-економічної ефективності борозенно-смугового посіву кукурудзи комбінованим знаряддям шляхом обґрунтування вибору його конструктивних параметрів і режимів роботи.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі задачі дослідження:

1) встановити математичні залежності переміщення ґрунту елементами робочого органу сільськогосподарського знаряддя і на їх основі обґрунтувати його конструктивні параметри і режим роботи за умов утворення бажаної форми борозни;

2) розробити математичну модель плоско-паралельного руху сільськогосподарського знаряддя у поздовжньо-вертикальній площині і на її основі теоретично дослідити:

- вплив характеристик жорсткості приєднання сільськогосподарського знаряддя до висівної секції сівалки;

- вплив параметрів сільськогосподарського знаряддя і його режимів роботи на тяговий опір;

3) обґрунтувати параметри плоскофакельного дефлекторного розпилювача за умови рівномірного розпилу і загортання рідини по ширині смуги внесення;

4) експериментально оцінити вплив параметрів і режимів роботи плоскорізальної лапи на параметри профілю борозни, а також вплив параметрів розпилу рідини плоскофакельним розпилювачем на характеристики ґрунтово-гербіцидної смуги;

5) експериментально оцінити вплив вибраних конструктивних параметрів і режимів роботи комбінованого знаряддя на техніко-економічну ефективність його роботи під час посіву кукурудзи борозенно-смуговим способом.

Об'єкт дослідження – процеси утворення борозенно-гребеневої поверхні поля, підґрунтового смугового внесення рідини і борозенного посіву кукурудзи.

Предмет дослідження – закономірності впливу конструктивних параметрів і режимів роботи комбінованого знаряддя на техніко-економічні і якісні показники процесу борозенно-смугового посіву кукурудзи.

Методи дослідження. В основу методів теоретичних досліджень покладено основні положення землеробської механіки, теорії сільськогосподарських машин, теорії автоматичного регулювання лінійних динамічних систем при відтворенні ними збурювальних впливів.

Експериментальні дослідження проводили як за загальноприйнятими, так і за розробленими методиками, які передбачали використання сучасного тензометричного обладнання та ПЕОМ із відповідним програмним забезпеченням.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше розроблено математичну модель відвальника ґрунту, яка дозволяє синтезувати конструктивні параметри і обґрунтувати режим його роботи під час відкидання сухого ґрунту на задану відстань;

- дістали подальший розвиток залежності, які, на відміну від існуючих, зв'язують конструктивні параметри тригранного та нахиленого двогранного клинів у процесі утворення ними борозни заданого поперечного перерізу для борозенно-смугового посіву кукурудзи;

- встановлено математичні залежності, які дозволяють обґрунтувати конструктивні параметри пристрою для підґрунтового смугового внесення гербіцидів у процесі борозенно-смугового посіву кукурудзи.

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

- розробці методики проектування робочого органу для нарізання борозни і смугового підґрунтового внесення гербіцидів;

- розробці конструкції комбінованого агрегату для нарізання борозен, смугового підґрунтового внесення гербіцидів і посіву в борозни кукурудзи;
- обґрунтуванні оптимального налаштування і режимів роботи цього агрегату;
- розробці, виготовленні й використанні спеціальної експериментальної установки для виміру тягового зусилля комбінованого робочого органу й параметрів розпилювачів.

Дослідний зразок машинно-тракторного агрегату у складі трактора ЮМЗ-6, підживлювача-обприскувача ПОМ-630-02 і сівалки СУПН-6 з 2007 р. і по теперішній час використовується у товаристві з обмеженою відповідальністю «Дружба» (Херсонська область, Новотроїцький район, село Зелене). Мінімальна щорічна площа вирощування кукурудзи новим МТА становить 200 га, що відображено в акті виробничого впровадження від 25 червня 2015 р. Результати теоретичних і експериментальних досліджень використовуються у навчальному процесі підготовки фахівців сільськогосподарського машинобудування.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням. У наукових працях, виконаних у співавторстві, особистий внесок наступний: обґрунтована техніко-економічна ефективність борозенно-смугового посіву кукурудзи комбінованим знаряддям [1, 3, 13, 14]; розроблені моделі та досліджено процес відкидання ґрунту вертикальним нахиленим клином і відвальником [4–6]; проведено техніко-економічне порівняння різних технологій вирощування кукурудзи у посушливих умовах півдня України [10]; розроблені та досліджені математична й динамічна моделі руху робочого органу для утворення борозни [11]; розроблена й виготовлена конструкція борозноутворювача [12]; досліджено вплив гербіцидів на довкілля при вирощуванні кукурудзи за борозенною технологією [16].

Дослідження проводилися у Таврійському державному агротехнологічному університеті та його структурних підрозділах.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались на 14 науково-практичних конференціях у Таврійському державному агротехнологічному університеті в 2002–2015 роках, на 8 міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукових досліджень 2012» у Полтавській державній агротехнічній академії (19–21 листопада 2012 р.), на 6 міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвячених дню народження академіка П.М. Василенка (2004–2014 рр.).

Публікації. Результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані в 16 друкованих працях, у тому числі у 6 – одноосібно. У наукових фахових виданнях опубліковано 10 статей, у закордонних – 1, в інших наукових виданнях – 2. Результати досліджень представлені 2 тезами доповідей на науково-практичних конференціях. За темою дисертаційної роботи отримано 1 патент на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, 10 додатків на 20 сторінках та списку використаних джерел із 88 найменувань на 10 сторінках. Обсяг основного тексту становить 163 сторінки, містить 19 таблиць, 59 рисунків. Загальний обсяг роботи становить 193 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Стан питання і задачі дослідження» на підставі вивчення літературних джерел проаналізовано сучасний стан застосування технології і техніки внесення ґрунтових гербіцидів і матеріалів при борозенному посіві та суміщення його з передпосівною культивуацією, в результаті чого обґрунтована тема й сформульовані задачі дослідження.

Окремі аспекти внесення матеріалів у ґрунт розглянуто в працях В.П. Бичкова, А.А. Ногтикова, М.П. Бугаєвського, В.А. Колесникова, В.Н. Міщенко та ін. Питання смугового внесення матеріалів у ґрунт розглянуто в працях В.Н. Вихрачова, М.О. Шабали, В.Я. Ковалю, В.Д. Забросаєва, В.А. Чернишова та ін. У роботах М.А. Попова, С.П. Нікітіна, І.Л. Левишка, Т.П. Беложирова, П.Т. Себка для нарізання борозен пропонується використовувати спеціальні борозноутворювачі, які можна встановити на сівалці перед сошниками.

Функціональні якості і конструктивні параметри культиваторних лап розглядалися в роботах відомих учених Г.М. Синєокова, П.М. Бурченка, І.М. Панова, Е.В. Долматова, В.П. Лісютіна, В.М. Шарова, В.Г. Гниломедова, М.І. Волошка, М.О. Шабали, І.Ф. Попова, Я.С. Гукова та ін. Використання культиваторних лап для підґрунтового внесення гербіцидів досліджувалося в Краснодарському НДІСГ, Дагестанському сільськогосподарському інституті, Молдавському НДІ кукурудзи і сорго. Зсув і відкидання ґрунту сошником і культиваторною лапою розглядалися А.Н. Зеленіним, Г.Н. Д'яченком, В.А. Кириченком, А.Є. Циммерманом.

На основі предметного аналізу отриманих цими науковцями матеріалів було встановлено, що ефективного вирощування кукурудзи в умовах низького вологозабезпечення можна досягти шляхом впровадження такого техніко-технологічного рішення, яке б дозволяло одночасно здійснювати посів кукурудзи і проводити боротьбу з бур'янами як шляхом механічного, так і хімічного впливу на них. Вказані технологічні функції можна реалізувати за допомогою відповідного комбінованого знаряддя, яке дозволяє здійснити борозенний посів кукурудзи, смуговий обробіток ґрунту гербіцидами та механічними робочими органами.

У другому розділі «Теоретичні дослідження» були досліджені питання утворення борозенно-гребеневої поверхні поля, підґрунтового смугового внесення рідини і встановлення режиму роботи комбінованого з цими операціями посівного агрегату. Розглянуті процеси утворення борозенно-гребеневої поверхні поля плоскоріжучими лапами з доданими до них на кінцях крил закрилками і плоскоріжучими лапами з доданими до них відвальниками (рис. 1). Для отримання потрібного профілю поля крила лапи, її стійка і закрилка або відвальники повинні переміщувати ґрунт в боковому напрямку на таку відстань, щоб борозна і гребінь були чітко сформовані. Ця задача вирішувалась комплексно за таких припущень:

- 1) ґрунт є вільний від пророслих бур'янів;
- 2) дія крил, стійки і відвальників (закрилків) лап на ґрунт і його рух відбуваються незалежно;
- 3) враховуючи досить велику швидкість руху (не менше 7 км/год.) переміщення ґрунту відбувається переважно у вигляді кидання, а не пересування;
- 4) переміщення ґрунту після його падіння незначне.

Було розглянуто переміщення ґрунту всіма окремими елементами лапи. Сійка-ніж лапи, що має вигляд вертикального нахиленого двогранного клину і розглядається як тригранний клин, рухається з поступальною швидкістю V , а частка ґрунту, рухаючись по поверхні клину з переносною швидкістю V_r через деякий час переміститься в точку O^* (рис. 2).

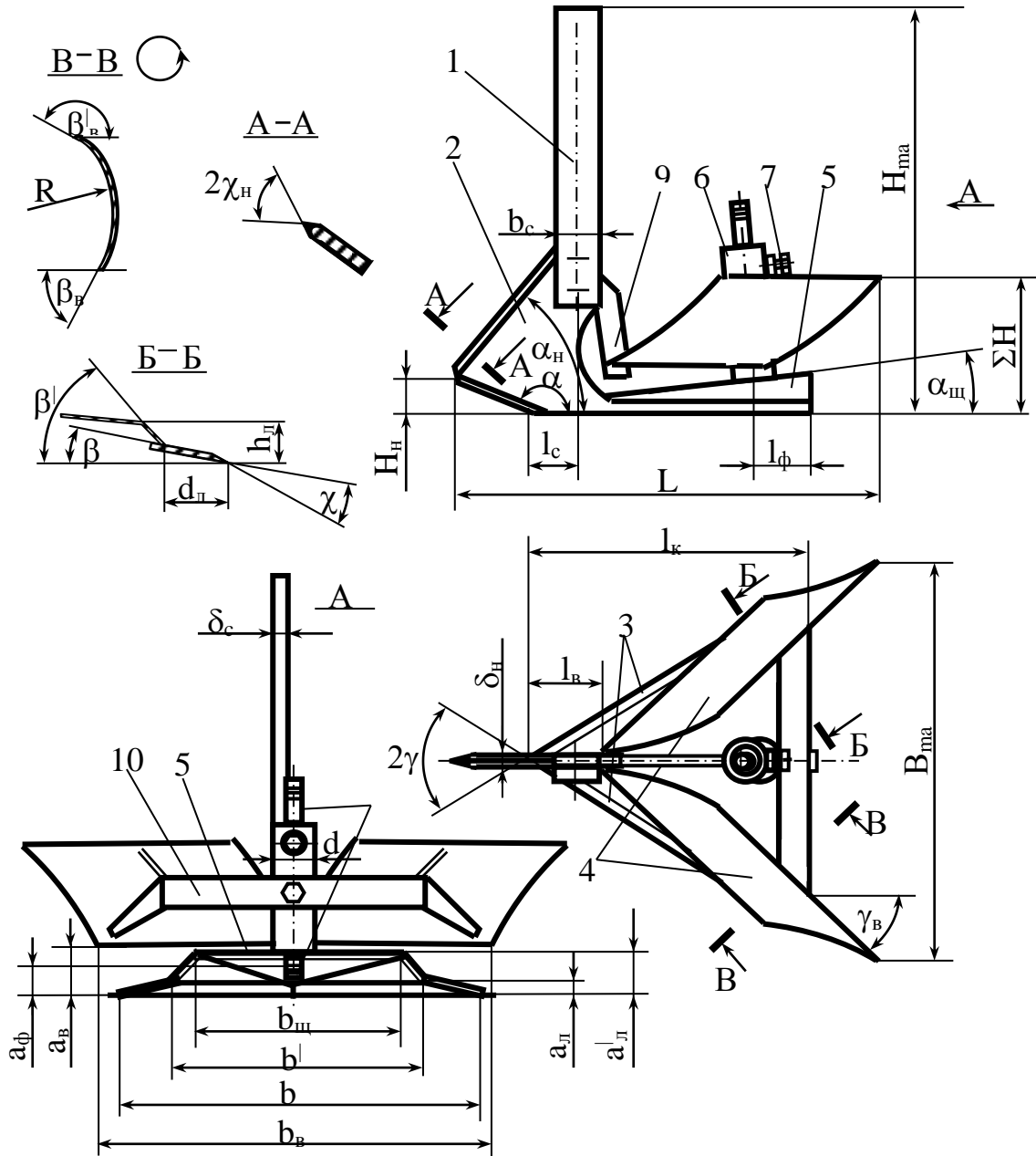


Рис. 1. Робочий орган (лапа) для утворення борозни і підґрунтового смугового внесення гербіцидів: 1 – сійка лапи; 2 – сійка-ніж; 3 – крила лапи; 4 – відвальники; 5 – щиток; 6 – корпус розпилювача; 7 – гвинт-фіксатор; 8 – розпилювач; 9, 10 – передній і задній кронштейни утримання відвальників.

Швидкість V_r спрямована під кутом ψ до горизонтальної площини XOY і під кутом η до поздовжньо-вертикальної площини. Поздовжня V_x , бокова V_y і вертикальна V_z складові швидкості V_r будуть мати такі вирази:

$$V_x = V_r \cdot \cos\psi \cdot \cos\eta ; \quad V_y = V_r \cdot \cos\psi \cdot \sin\eta ; \quad V_z = V_r \cdot \sin\psi . \quad (1)$$

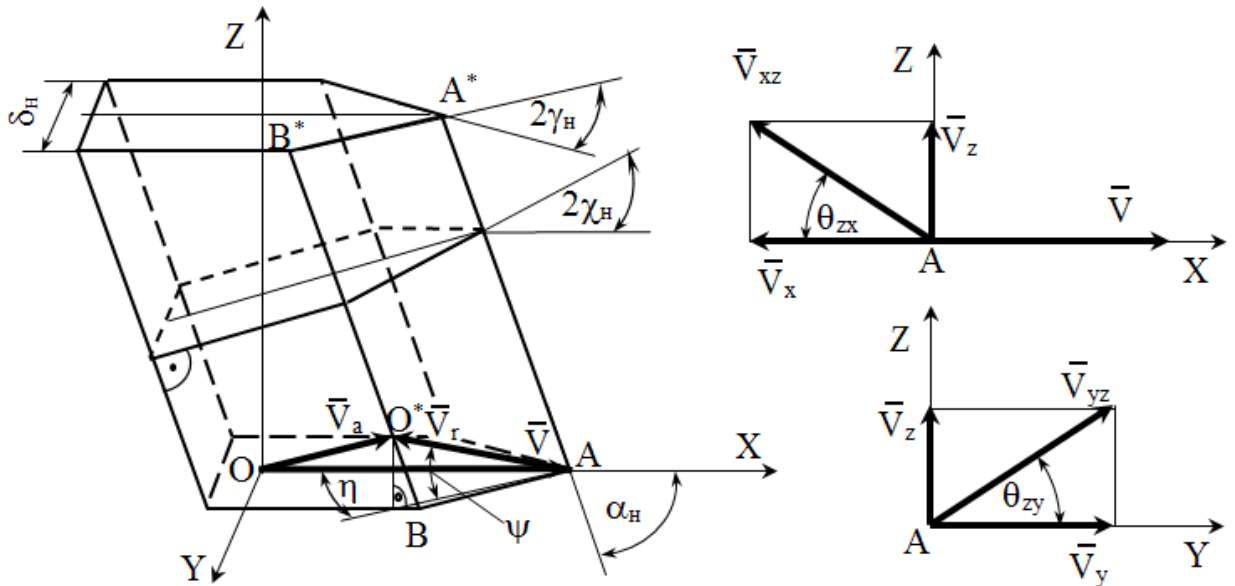


Рис. 2. Схема взаємодії елемента верхньої частини стійки-ножа з ґрунтом.

Швидкість руху частки ґрунту у поздовжньо-вертикальній площині V_{zx} спрямована до горизонту під кутом θ_{zx} , а в поперечно-вертикальній площині V_{zy} – під кутом θ_{zy} , тобто:

$$\operatorname{tg}\theta_{zx} = \frac{V_z}{V_x} = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\cos\eta}; \quad \operatorname{tg}\theta_{zy} = \frac{V_z}{V_y} = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\sin\eta}. \quad (2)$$

Для визначення кутів ψ і η розглянемо схему тригранного клину за Г.М. Синєоковим (рис. 3), відповідно до якої пласт ґрунту AOD під дією кута кришення β піднімається в положення AO^*D , причому трикутники AOD і AO^*D повністю ідентичні. Вектори переносних швидкостей усіх часток ґрунту V_r паралельні лінії AO^* . Довжина відрізків на рис. 3 визначиться наступними виразами: $(AO) = (AO^*)$; $(AD) = (AO)\cos\gamma$; $(OD) = (O^*D) = (AD)\operatorname{tg}\gamma$; $(ED) = (OD)\cos\beta$; $(O^*E) = (OD)\sin\beta$; $(OO^*) = 2(OD)\sin(\beta/2)$; $(AE) = (AO^*)\cos\psi$.

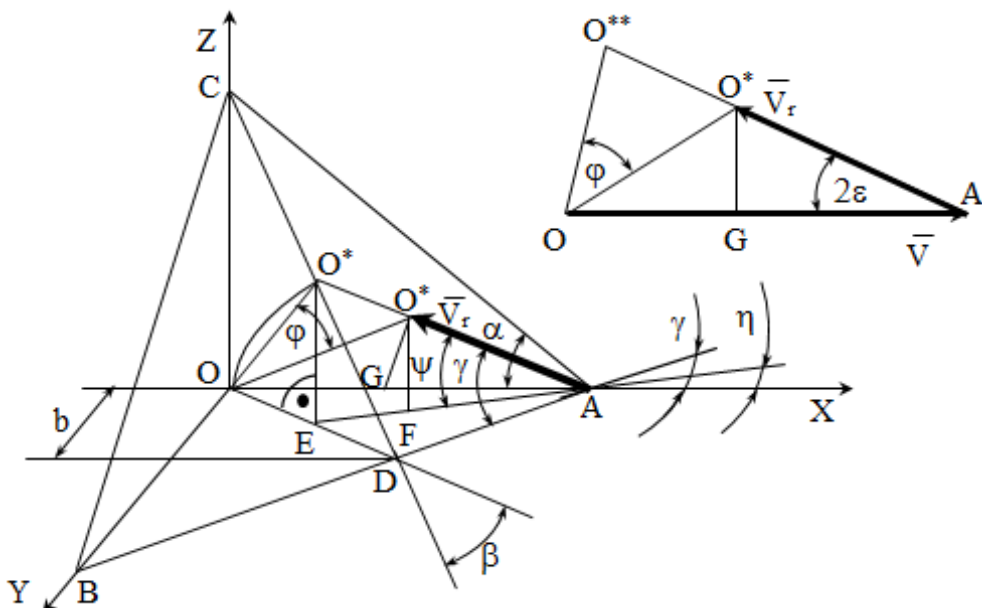


Рис. 3. Схема до аналізу роботи стійки лапи як тригранного клину.

Кут ψ визначимо із співвідношення в трикутнику $AO^{**}E$

$$\sin\psi = (O^{**}E) / (AO^{**}) . \quad (3)$$

Кут η визначимо із співвідношень:

$$\eta = \gamma - \text{кут } EAD; \text{ кут } EAD = \arctg[(ED)/(AD)], \text{ тобто}$$

$$\eta = \gamma - \arctg[(ED)/(AD)]. \quad (4)$$

Підставивши в формулу (3) відповідні вирази, одержимо формулу

$$\sin\psi = \sin\gamma \cdot \sin\beta , \quad (5)$$

а, підставивши в формулу (4) відповідні вирази, отримаємо формулу

$$\eta = \gamma - \arctg(\text{tg}\gamma \cdot \cos\beta) . \quad (6)$$

Швидкість V_r визначимо з рішення трикутника AOO^* , враховуючи, що $(AO) = V$, $(AO^*) = V_r$ і $\sin \varepsilon = 0,5 (OO^*) / (AO) = \sin\gamma \cdot \sin\beta / 2$, тобто:

$$V_r \cdot \cos(2\varepsilon) + V_r \cdot \sin(2\varepsilon) \cdot \text{ctg}(\pi/2 - \varepsilon - \varphi) = V , \text{ звідки}$$

$$V_r = V \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) - \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) + \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}} . \quad (7)$$

Підставивши вирази (7), (6) і (5) в формули (1) і враховуючи, що напрям швидкості V_x протилежний напрямку руху (вісі OX), отримаємо остаточно:

$$V_x = -V \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) - \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) + \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}} \times \\ \times \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 \beta}{1 + \text{tg}^2 \gamma \cdot \cos^2 \beta}} (1 + \text{tg}^2 \gamma \cdot \cos \beta) \cos \gamma ; \quad (8)$$

$$V_y = V \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) - \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) + \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}} \times \\ \times \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 \beta}{1 + \text{tg}^2 \gamma \cdot \cos^2 \beta}} (1 - \cos \beta) \cdot \sin \gamma ; \quad (9)$$

$$V_z = V \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) - \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2) + \text{tg } \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}} \sin \gamma \cdot \sin \beta . \quad (10)$$

Дальність польоту часток ґрунту в поздовжньому і боковому напрямках:

$$L_x = V_x \cdot t_{\Pi} ; \quad L_y = V_y \cdot t_{\Pi} , \quad (11)$$

де t_{Π} – час польоту частки ґрунту A за умови, що висота розташування частки після польоту вища, ніж в момент вильоту на верхівку гребня $h_{\text{гр}}$ (рис. 4).

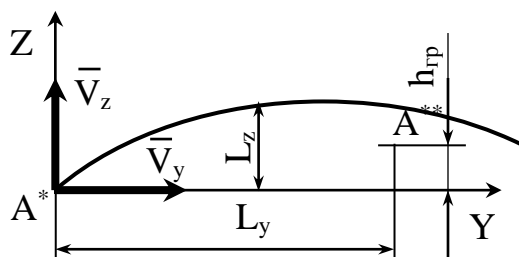


Рис. 4. Схема польоту частки ґрунту в боковому напрямку.

За законом вільного польоту

$$t_{\Pi} = \frac{V_z}{g} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2gh}{V_z^2}} \right) . \quad (12)$$

Підставивши в формули (11) вирази (8), (9) і (12), одержимо вирази для відносної дальності польоту часток ґрунту в поздовжньому і боковому напрямках:

$$L_x = -\frac{V^2}{g} \left(\frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)} \right)^2 \times$$

$$\times \left(\sqrt{\frac{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot \cos^2 \beta}} (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot \cos \beta) \sin \gamma \cdot \cos \gamma \cdot \sin \beta \right) \times$$

$$\times \left[1 + \sqrt{1 - \frac{2 g h_{\text{гр}}}{V^2 \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 \beta} \left(\frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)} \right)^2} \right]; \quad (13)$$

$$L_y = \frac{V^2}{g} \left(\frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)} \right)^2 \times$$

$$\times \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 \beta}{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma \cdot \cos^2 \beta}} (1 - \cos \beta) \sin \beta \cdot \sin^2 \gamma \times$$

$$\times \left[1 + \sqrt{1 - \frac{2 g h_{\text{гр}}}{V^2 \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 \beta} \left(\frac{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)}{\sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cdot \sin^2 (\beta/2)} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \sin (\beta/2)} \right)^2} \right]. \quad (14)$$

За формулами (13) і (14) визначається відстань відкидання ґрунту, що сходять зі стійки-ножа вище рівня поверхні поля, в залежності від кутів γ і β і від кутів χ і α , враховуючи, що:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \chi \cdot \sin \alpha; \quad \cos \beta = \cos \alpha \cdot \sin \chi. \quad (15)$$

Але частки ґрунту, що сходять з клину нижче цього рівня, також сприяють його пересуванню. За час руху по поверхні клину частки ґрунту пересунуться вгору і будуть вільно летіти на відстані, що визначаються за формулами (13) і (14), в яких

$$h_{\text{гр}} = h_{\text{п}} - h_{\text{с}}. \quad (16)$$

де $h_{\text{с}}$, $h_{\text{п}}$ – висота розташування частки ґрунту відповідно в моменти сходу з клину і падіння на поверхню поля, $0 \leq h_{\text{с}} \leq H_{\text{с}}$;

$$H_{\text{с}} = b_{\text{к}} \sqrt{\frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha) (1 + \sin \chi \cdot \cos \alpha)}{1 - \sin \chi \cdot \cos \alpha}}. \quad (17)$$

де $b_{\text{к}}$ – ширина захвату клину (для стійки-ножа $b_{\text{к}} = 0,5 \cdot \delta_{\text{н}}$).

З клину в найвищій точці сходу A^* з висотою $h_{\text{с}} = H_{\text{с}}$ зійде частка ґрунту, що знаходилась на початку руху в точці A , а в найнижчій точці сходу $A^{|\ast}$ з висотою $h_{\text{с}} = 0$ зійдуть одночасно частки ґрунту, що були розташовані на лінії $A|A^{|\ast}$ (рис. 5). Лінії AA^* і $A|A^{|\ast}$ збігаються з напрямом абсолютних швидкостей $V_{\text{а}}$. Таким чином, вільний політ на відстані, що визначаються за формулами (13) і (14), здійснять частки ґрунту, що знаходяться в перерізі $AA|A^{|\ast}$ (рис. 5). Частки ж ґрунту, що знаходяться нижче лінії $A|A^{|\ast}$ при сході з клину будуть стикатися з майже нерухомим ґрунтом уздовж стійки-ножа.

де λ – коефіцієнт розпушеності ґрунту.

Користуючись формулами (19)...(22) визначимо величину h_{cp}

$$h_{cp} = \frac{\lambda (b_k + b_{\Gamma \max})^2 \operatorname{tg} \theta_{yz}}{2 (L_{y \max} - b_{\Gamma \max})}. \quad (23)$$

Величину $L_{y \max}$ визначимо за формулами (14), (15), (17) і (23), в яких приймемо: $h_n = 0$, $h_c = H_c$ і $b_k = 0,5\delta_n$

$$L_{y \max} = \frac{2V^2}{g} \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{(1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi) \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \chi \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}}}{\sqrt{1 - \frac{(1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi) \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \chi \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}}} \right)^2 \times$$

$$\times \frac{(1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi) \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha} \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \chi}{1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha}} \times$$

$$\times \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{g \cdot \delta_n (1 + \cos \alpha \cdot \sin \chi)(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)^{3/2}}{V^2 (1 - \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \chi)^{3/2} \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha}} \right\} \times$$

$$\times \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{(1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi) \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}} + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \chi \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}}}{\sqrt{1 - \frac{(1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi) \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}} - \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \chi \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha \cdot \sin \chi}{2(1 + \operatorname{tg}^2 \chi \cdot \sin^2 \alpha)}}} \right)^2. \quad (24)$$

Таким чином, користуючись наведеними формулами і враховуючи, що $b_k = 0,5 \cdot \delta_n$, можна визначити величини $b_{\Gamma \max}$, $L_{y \max}$, $C_{\Gamma n}$ і h_{cpn} , тобто: звідки викидається ґрунт, на яку відстань і яким шаром він лягає на поверхню поля.

Корпус розпилювача лапи розташований в одній поздовжньо-вертикальній площині зі стійкою-ножем на відстані $l_k - l_p$ позаду неї (див. рис. 1), має форму циліндра діаметром d_k і нахилений вперед від вертикалі на кут $\alpha_{ш}$. Його також можна розглядати як вертикально нахилений клин, у якого $b_k = 0,5 \cdot d_k$, $\alpha_k = 90^\circ + \alpha_{ш}$ і $\chi_k = \varphi_{\Gamma}$. Таким чином, процес відкидання ґрунту корпусом розпилювача лапи розглядається так само, як і стійкою-ножем, а при розрахунках у всіх формулах замість величини δ_n приймалося $d_k - \delta_n$.

Крила лапи-бритви мають дуже малий кут кришення $\beta \approx 15^\circ$ і не здатні ні відкидати, ні пересувати ґрунт. Розрахунки за наведеними формулами при $\beta = 15^\circ$, $\varphi = 0$ і $30^\circ < \gamma < 60^\circ$ показують, що бокове відкидання ґрунту майже = 0.

Враховуючи те, що лапи не подають ґрунт до закрилків, встановлених на їх периферії, закрилки не забезпечать формування потрібного профілю поверхні. Тому треба встановлювати поверх лапи спеціальні відвальники (див. рис. 1). Відвальники

мають на меті відкидати верхній шар ґрунту на міжряддя, лягаючи там у стик від суміжних лап, і мають зливатись в один великий гребінь правильної форми. Оптимізації повинні підлягати наступні параметри відвальника (рис. 7в): довжина висоти заготовки A_B ; кут розчину γ_B ; кут нахилу до горизонтальної площини у верхній частині (кут сходу β_B^l); радіус R_B .

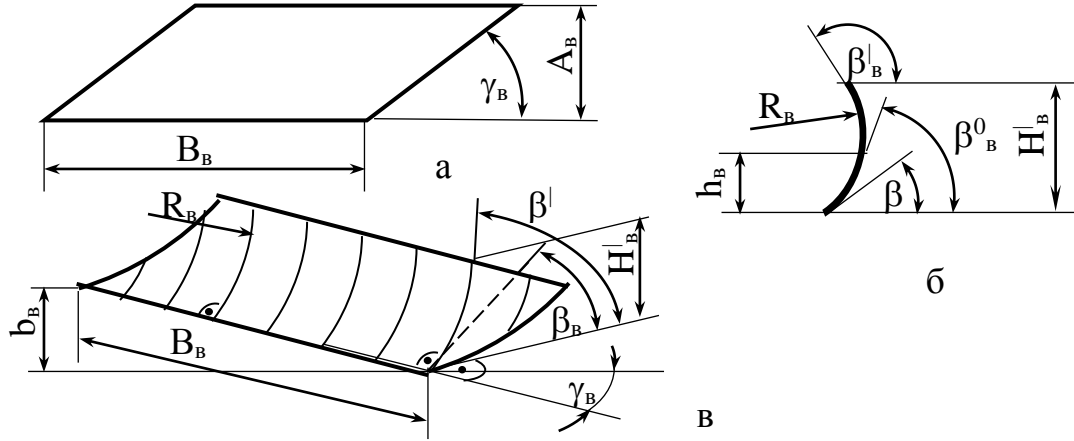


Рис. 7. Побудова і параметри відвальника: а – заготовка; б – профіль відвальника; в – загальний вигляд відвальника.

Величина кута β_B^l визначається на підставі рис. 7б, за формулою

$$\beta_B^l = \beta_B + A_B / R_B. \quad (25)$$

Кількість ґрунту, що викидається відвальником з борозни на гребінь, буде визначатись як величина, пропорційна площі його проекції на поперечний переріз ґрунту S_B . Площа S_B визначається як (див. рис. 7):

$$S_B \approx b_B \cdot h_B, \quad (26)$$

де b_B – ширина захвату відвальника;

h_B – товщина шару ґрунту, що знімається відвальником, $h_B < H_B$.

$$H_B = R_B (\cos \beta_B - \cos \beta_B^l), \quad (27)$$

$$b_B = B_B \cdot \sin \gamma_B. \quad (28)$$

Бокова дальність відкидання ґрунту відвальником визначається (рис. 8):

$$L_y = L_y^l + L_{yB}, \quad (29)$$

де L_y^l, L_{yB} – відповідно бокова дальність відкидання ґрунту з відвальника і бокове переміщення ґрунту при його русі по поверхні відвальника.

Величина L_y^l визначається по формулі (14), в якій приймається: $\gamma = \gamma_B, \beta = \beta_B^l$ і $h_{гр} = H_B - h_B - 0,5 h_{гр}^l$, де $h_{гр}^l$ – висота гребеня, утвореного відвальником, а, оскільки, $h_{гр}^l \approx \lambda \cdot h_B$, де λ – коефіцієнт розпушення відкинутого ґрунту, то:

$$h_{гр} = H_B - (1 + 0,5 \cdot \lambda) \cdot h_B; \quad (30)$$

$$L_{yB} = R_B \cdot \cos \gamma_B [(\beta_B^l - \beta_B) - \sin \beta_B^l + \sin \beta_B]; \quad (31)$$

$$b_B = B_B / 2 - L_y. \quad (32)$$

Як бачимо, величини β_B^l і H_B залежать від багатьох параметрів відвальника, що надає багатоваріантності їх добору. Тому розглянемо ряд умов щодо забезпечення стійкого відкидання скиби без її зіткнення, ламання і спадання в борозну.

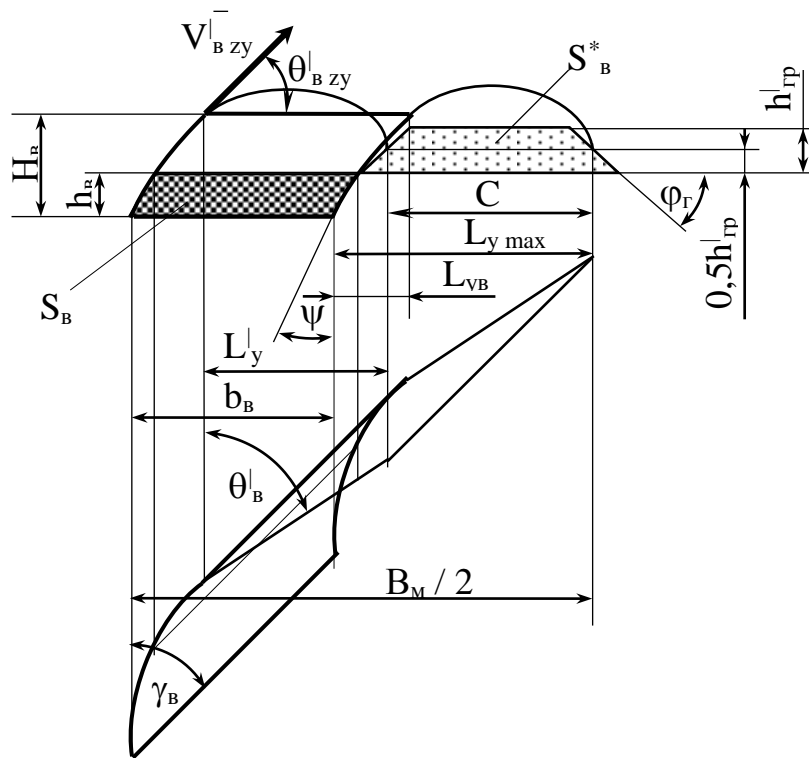


Рис. 8. Схема до визначення параметрів викидання ґрунту відвальником.

Перша умова: $\beta_B^0 \leq 90^\circ$ (див. рис. 7). Ця умова не дозволяє спрямування вертикальної складової тягового опору догори, а значить забезпечить надійне заглиблення й більш стійкий хід відвальника. При $\beta_B^0 = 90^\circ$ $R_B = h_B / \cos \beta_B$.

Друга умова – найбільшої дальності польоту ґрунту: $\theta_{B zy}^l = 45^\circ$ і $\text{tg } \theta_{B zy}^l = 1$.

Третя умова – мінімального значення величини H_B : $H_B \geq (1 + \lambda) h_B + \Delta h$, де Δh – запас висоти відвальника, необхідний для нормального сходу ґрунту і його польоту на потрібну відстань, $\Delta h = 2-3$ см.

Враховуючи те, що відвальник має працювати в деякому швидкісному діапазоні (7–9 км/год.), треба щоб він забезпечував за цих швидкостей визначену величину бокового відкидання автоматично або шляхом нескладних регулювань. Єдиним прийнятним параметром для цього є кут нахилу до горизонтальної площини в верхній частині – кут сходу β_B^l . Мінімальне значення цього куту буде при $\beta_B = 0$, тобто $\beta_{B, \text{мін}}^l = A_B / R_B$, а максимальне – буде залежати від рівня вишини профілю ґрунту в смузі руху відвальника h_B : $\beta_{B, \text{макс}}^l = A_B / R_B + \arccos(h_B / R_B)$. Діапазон регулювання: $\Delta \beta_B^l = \beta_{B, \text{макс}}^l - \beta_{B, \text{мін}}^l = \arccos[(\cos \beta_B - \cos \beta_B^l) h_B / H_B]$, де видно, що для його збільшення слід радіус кривизни приймати не менше подвійної висоти профілю h_B і зменшувати початковий кут входження відвальника в ґрунт. На рис. 9 наводяться графіки бокового відкидання L_y і підкидання L_z ґрунту відвальником в залежності від його поступальної швидкості V , що використовувалися для обґрунтування і вибору вказаних параметрів.

Встановлено, що для відкидання ґрунту з профілем $h_B = 5$ см на відстань 18 см доцільно використовувати відвальники, встановлені під кутом $\gamma_B = 45^\circ$ і з $R_B = 10$ см (при $A_B = 12$ см перепад кутів $\beta_B^l - \beta_B = 70^\circ$).

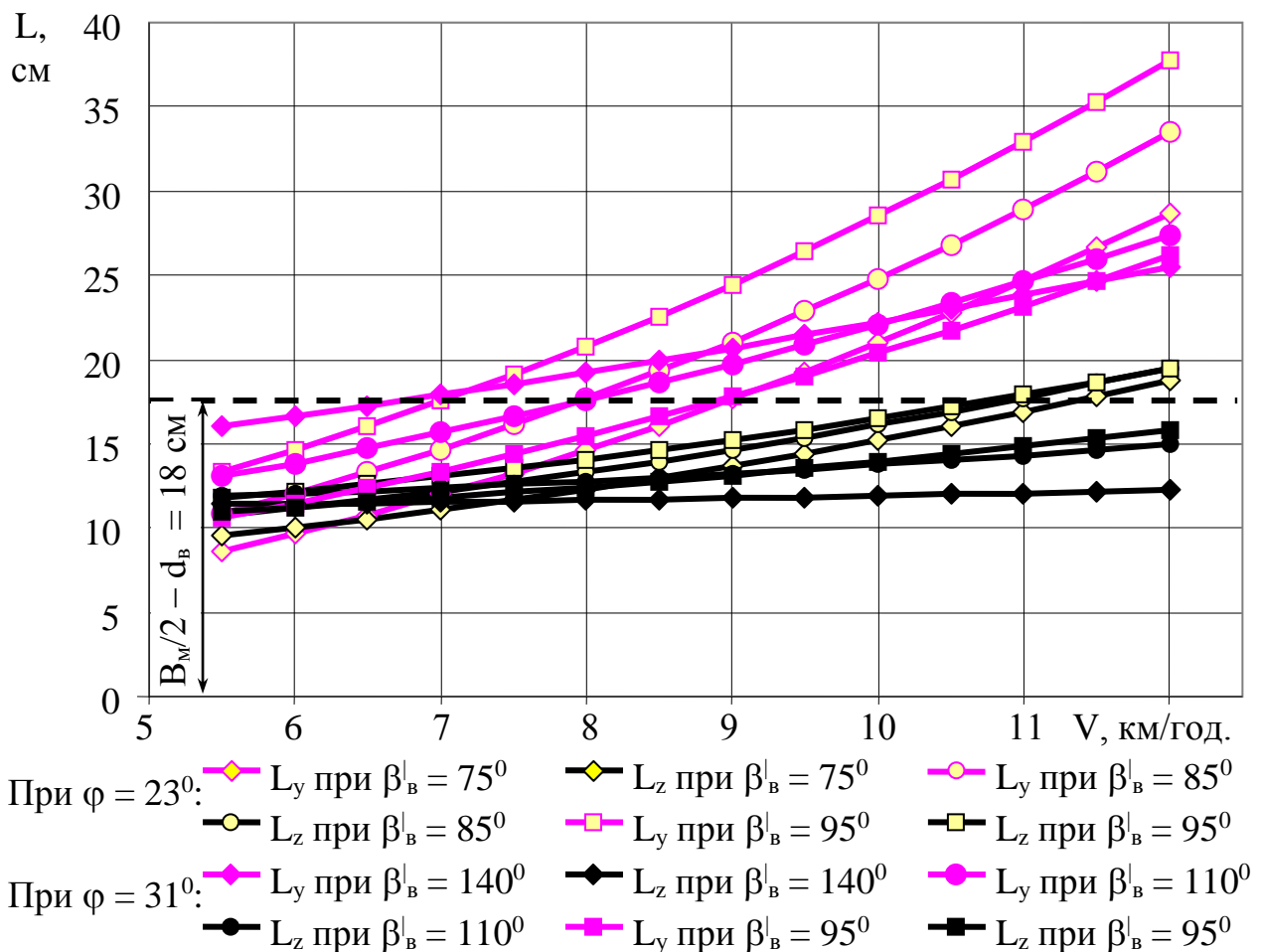


Рис. 9. Графіки дальності бокового відкидання L_y і підкидання L_z ґрунту відвальником з $\gamma_B = 45^\circ$, $\beta_B = \beta_B^l - 70^\circ$ і $R_B = 10$ см ($A_B = 12$ см) в залежності від його поступальної швидкості руху ($h_B = 5$ см, $B_M = 70$ см, $d_B = 17$ см).

За цих умов необхідна дальність відкидання ґрунту досягається за мінімального кута тертя ґрунту по поверхні відвальника $\varphi = 23^\circ$ при: $V = 7$ км/год. і $\beta_B^l = 95^\circ$; $V = 8$ км/год. і $\beta_B^l = 85^\circ$; $V = 9$ км/год. і $\beta_B^l = 75^\circ$ – і за максимального кута тертя ґрунту по поверхні відвальника $\varphi = 31^\circ$ при: $V = 7$ км/год. і $\beta_B^l = 140^\circ$; $V = 8$ км/год. і $\beta_B^l = 110^\circ$; $V = 9$ км/год. і $\beta_B^l = 95^\circ$. При відкиданні сухого ґрунту з кутом тертя φ , близьким до мінімального, всі умови щодо стійкого відкидання будуть гарантовано витримані.

Для бокового відкидання визначеного профілю ґрунту h_B на задану відстань L_y доцільно використовувати відвальники з постійними кутом розхилу γ_B і радіусом кривизни R_B та змінним (шляхом регулювання) кутом сходу ґрунту β_B^l в залежності від поступальної швидкості руху V . Параметри відвальників можна розрахувати з використанням наведених формул.

Стійкість ходу культиваторної лапи і відвальників по глибині є одним з найважливіших показників якості обробки ґрунту. Основними факторами, що впливають на стійкість ходу робочих органів культиватора, є: мікрорельєф поля, стан ґрунту, режим обробки і їх конструктивні параметри. Загальна дисперсія глибини обробки дорівнює сумі дисперсій:

$$D_H = D_{H1} + D_{H2}, \quad (33)$$

де D_{H1} – дисперсія глибини обробки від впливу реактивного опору ґрунту;

D_{H2} – дисперсія глибини обробітку від впливу нерівностей рельєфу поля.

$$D_{H1} = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} W_1(p) \cdot W_1(-p) \cdot S_{R_z}(p) \cdot dp, \quad (34)$$

де $W_1(p)$ – передатна функція динамічної ланки реактивного опору ґрунту;
 S_{R_z} – спектральна щільність реактивного опору ґрунту;
 p – параметр перетворення Лапласа.

Для визначення передатної функції $W_1(p)$ на підставі схеми (рис. 10) складено рівняння коливань робочого органу щодо рами (точки O) з узагальненою координатою ψ за наступних умов:

- робочий орган рухається з постійною поступальною швидкістю V ;
- всі елементи робочого органу жорсткі, а зазори у шарнірах відсутні;
- кут ψ є малим.

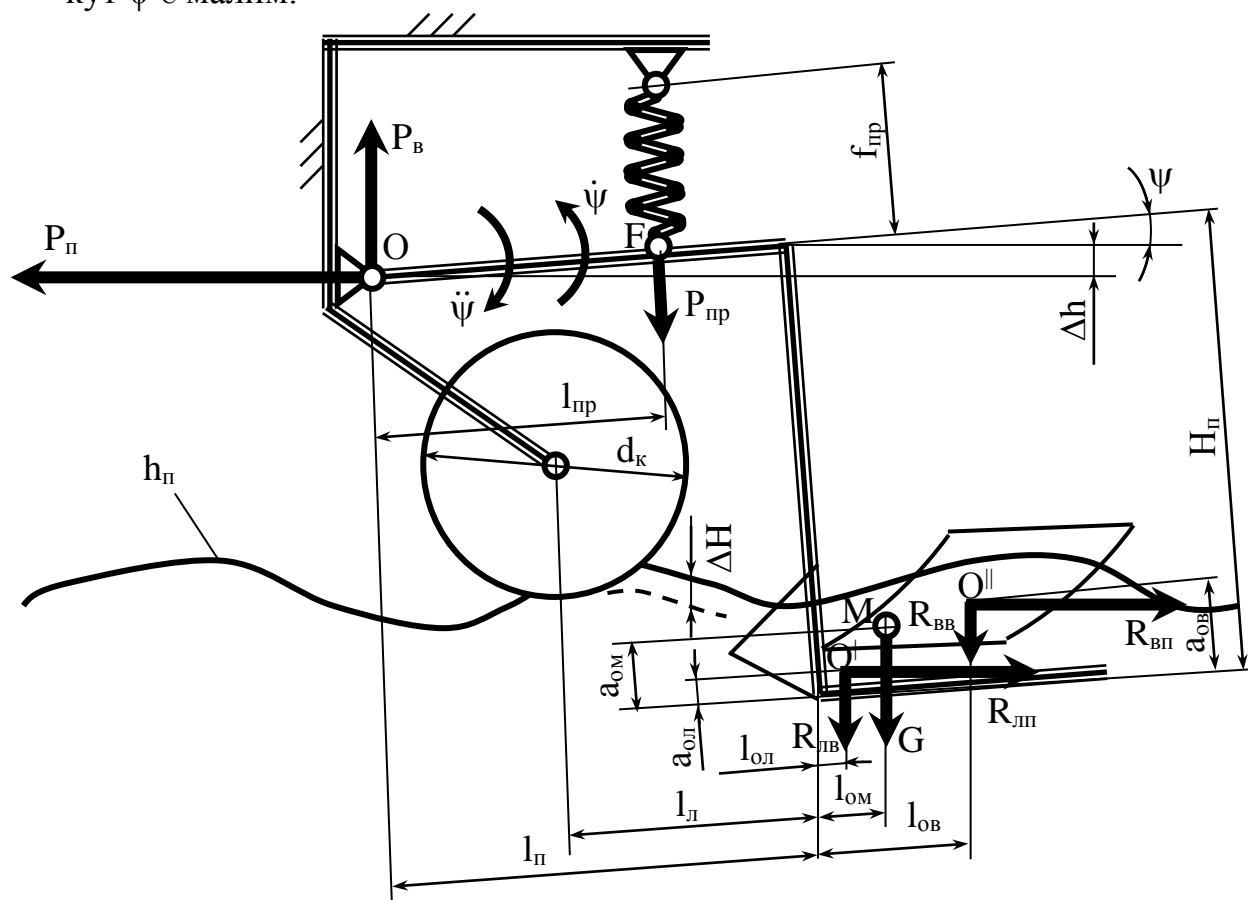


Рис. 10. Схема коливань робочого органу (лапи з відвальниками) в поздовжньо-вертикальній площині.

Математична модель коливань робочого органу у поздовжньо-вертикальній площині має наступний вигляд:

$$a_0 \cdot \ddot{\psi} + a_1 \cdot \dot{\psi} + a_2 \cdot \psi + a_3 = 0, \quad (35)$$

де $a_0 \dots a_3$, – коефіцієнти, які залежать від конструктивно-технологічних параметрів робочого органу (через їх громіздкість у авторефераті не приводяться).

На основі математичної моделі (35) отримано передатну функцію $W_1(p)$, яка відтворює коливання кута ψ у коливання глибини обробітку ґрунту і представляє собою консервативну ланку:

$$W_1(p) = \frac{K}{T^2 \cdot p^2 + 1}, \quad (36)$$

де $K = -l_n \cdot a_3/a_2$ – коефіцієнт підсилення динамічною системою вхідного впливу – кута ψ ;

$T = (a_0/a_2)^{1/2}$ – постійна часу, яка характеризує інерційні властивості робочого органу.

Резонансна частота коливань (ω) даної консервативної ланки залежить від конструктивно-технологічних параметрів робочого органу, які входять до коефіцієнтів математичної моделі a_0 і a_2

$$\omega = 1/T = (a_2/a_0)^{1/2}. \quad (37)$$

На основі отриманої передатної функції $W_1(p)$ розраховували амплітудні частотні характеристики (АЧХ) динамічної системи при відпрацюванні нею збурення у вигляді кута ψ . Аналіз теоретичних АЧХ показав, що шарнірно-пружне агрегування комбінованого робочого органу спричинює підвищення амплітуди його коливань у поздовжньо-вертикальній площині. Особливо це відчутно на частотах 1,3–1,6 Гц, які репрезентують коливання мікрорельєфу поля, але не входять до діапазону резонансних. Суттєве (до 20 разів) зменшення коливань борозноутворювача можливе при обладнанні його пружиною, жорсткість якої має бути більшою за 20 кН/м.

Для смугового підгрунтового внесення розчину доцільне використання одноструминних плоскофакельних дефлекторних розпилювачів. В залежності від встановлення розпилювачів змішування рідини з ґрунтом може відбуватись або з нижнім не розпушеним шаром (підшовою) борозни, або з верхнім розпушеним шаром, що сходить зі щитка лапи (рис. 11).

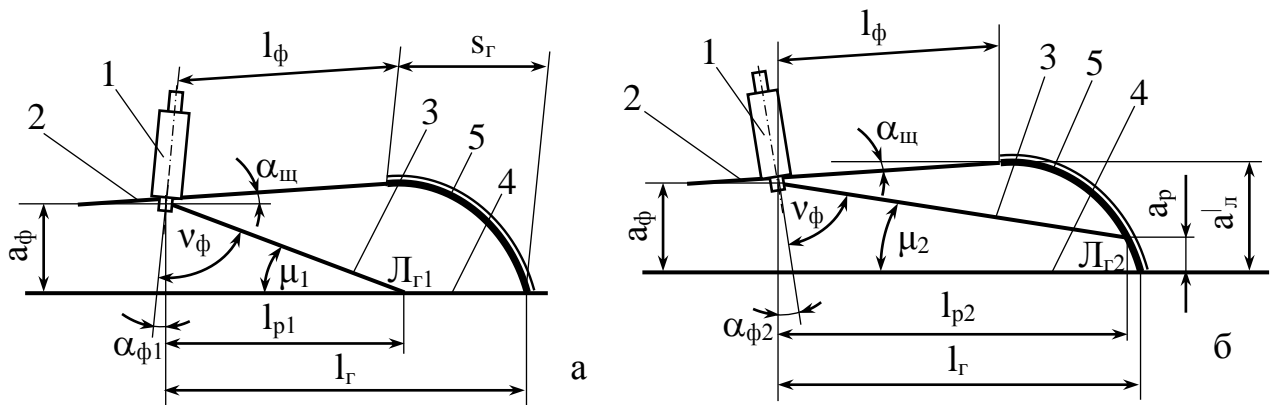


Рис. 11. Встановлення розпилювача при змішуванні рідини:

а – з підшовою борозни; б – з розпушеним ґрунтом, що сходить зі щитка;
1 – розпилювач; 2 – щиток; 3 – площина розпилу рідини; 4 – площина лез лапи; 5 – шар ґрунту, що сходить зі щитка.

Показник розпилу рідини ρ_p по ширині смуги її внесення, у разі перетину розпиленої рідини з верхнім ґрунтом, що сходить з лапи, набагато краще ніж в разі її перетину з підшовою борозни. Головна умова реалізації цього варіанту внесення рідини – це наявність відповідних вузькоструминних розпилювачів.

Аналіз результатів розрахунків показує, що в межах агротехнічних швидкостей

сівалки СУПН-6 (7–8 км/год.) агрегат може працювати з трактором МТЗ-80 на 5-ій і з трактором ЮМЗ-6 на 2-ій передачах. При цьому дещо кращі показники у агрегату з трактором ЮМЗ-6: при однаковій технічній продуктивності 2,2 га/год., у нього вищий ступінь завантаження по тязі: 0,87 проти 0,75, і менша питома витрата палива: 3,40 кг/га проти 4,01 кг/га.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження» наведені програма, об'єкт і методика досліджень, методика опрацювання і оцінки похибок визначення дослідних даних, а також результати експериментальних досліджень.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося: визначення вагових і конструкційних параметрів робочих органів і їх елементів; визначення параметрів профілю борозни, норми внесення і якості розпилу розчину гербіцидів; визначення середньостатистичних значень тягового опору робочих органів для утворення борозни і підгрунтового внесення розчину гербіцидів; визначення робочої швидкості і годинної витрати палива при робочих проходах агрегату; проведення хронометражу роботи комбінованого агрегату.

Об'єктом лабораторно-польових досліджень був комбінований МТА з трактором класу 1,4 (МТЗ-80, ЮМЗ-6) підживлювачем-обприскувачем ПОМ-630-02 і сівалкою СУПН-6, на рамі якої попереду посівних секцій встановлені шість дослідних робочих органів для утворення в зоні рядків ґрунтових борозен і смугового підгрунтового внесення розчину гербіцидів під дно цих борозен.

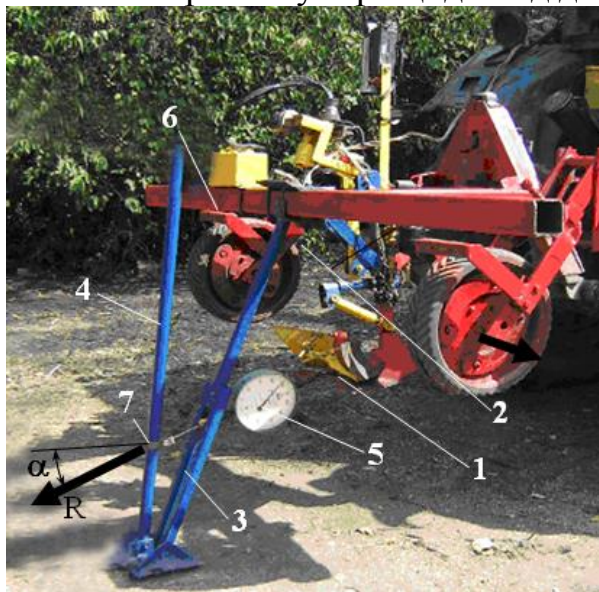


Рис. 12. Визначення тягового опору R і кута його відхилення від горизонтальної площини α : 1 – робочий орган; 2 – рама; 3 – опорний кронштейн; 4 – важіль; 5 – динамометр ДПУ-0,2/2; 6 – блок управління; 7 – хомут.

Основні дослідження проводились з метою перевірки адекватності розроблених моделей, а також для порівняльної оцінки варіантів комплектування і режиму руху комбінованого агрегату. Вони проводились на ґрунті з сухим шаром до 6 см, при оптимальному налагодженні робочих органів на глибину ходу лап і відвальників і на кут входження ґрунту на відвальник, при оптимальній агротехнічній швидкості.

Для виміру тягового зусилля дослідного робочого органу була виготовлена експериментальна установка (рис. 12), яка побудована на принципі фіксації під час роботи деформованого стану спеціальних вимірювальних пружин з наступною штучною імітацією цього стану (a , значить, і тягового зусилля) при зупинці динамометром і фіксацією ним тягового зусилля і кута його відхилення в поздовжній площині.

Пошукові дослідження мали на меті отримання вихідної інформації для моделювання і розрахунків, а також для виявлення реальних діапазонів варіювання параметрів, що визначаються.

Агрегат був повнокомплектним. Проводилось смугове внесення розчину гербіциду Харнес і посів кукурудзи в борозни.

Окрім агрегату з відвальниками одночасно проводились досліді на агрегаті з закрилками, а також проводився звичайний посів кукурудзи без борозноутворення. На залікових ділянках довжиною 50 м, що відмірялись рулеткою і відбивались тичками, у трикратній повторності проводився вимір наступних параметрів: ширини і глибини борозни; інтервалу висіву насіння; глибини загортання насіння; поступальної швидкості руху агрегату; витрати палива.

Також на полі проводились хронометражні спостереження. Дослідні ділянки помічались спеціальними бирками і знаходились там до збирання врожаю. На дослідних ділянках і на звичайних посівах (контроль) вручну проводилося збирання кукурудзи і бур'янів на площі 25 м². Все зразу зважувалося. Додатково вимірювалась довжина і перелічувалась кількість окремих стеблин і качанів, зерно висушувалося до вологості 14 % і зважувалося.

Усі експериментальні дані записувалися в бортжурнал, з якого заносилися в комп'ютер і оброблялись стандартними функціями Excel з пакету Microsoft. Результати обміру профілю борозни (рис. 13) і візуальної оцінки її якості наведені в табл. 1.

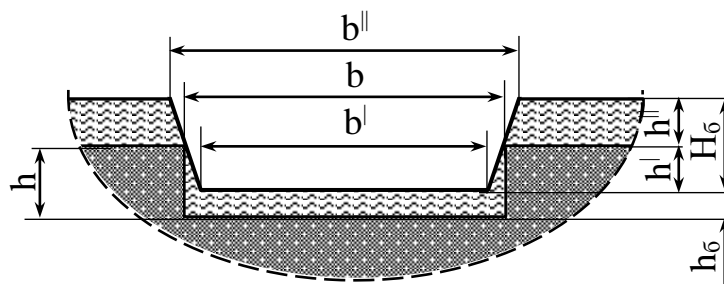



Рис. 13. Схема обміру профілю борозни:

-  – розпушений шар ґрунту;
-  – не розпушений шар ґрунту

Усереднений профіль борозен, що утворювалися лапою з відвальниками і з закрилками, подані на рис. 14. Як видно, відвальники забезпечують кращий профіль поверхні поля, ніж закрилки.

Середній тяговий опір для лап з відвальниками і закрилками для умов, наведених в табл. 1, відповідно склав 780...1150 Н і 660...920 Н. Ступінь нерівномірності розпилу дефлекторними розпилювачами з діаметром отвору 1,2 мм і видатком $Q_{\phi} = 0,68$ л/хв. склала 47 %. Середня глибина загортання насіння після лап з відвальниками і закрилками для умов, наведених в таблиці, відповідно склала $3,8 \pm 0,7$ см і $6,3 \pm 1,0$ см.

Експлуатаційні показники комбінованого агрегату на базі сівалки СУПН-8(6) з трактором ЮМЗ-6 за даними хронометражу наведені в табл. 2.

Завдяки дещо більшому тяговому опору, агрегат з відвальниками трохи поступається агрегату з закрилками. Агрегат з відвальниками працює краще на пересохлому ґрунті. Якщо ж верхній шар ґрунту, що має відкидатися з борозни, недостатньо зсушений (вологість більша за 14 %) – краще працює агрегат з закрилками.

Таблиця 1

Параметри профілю і оцінки якості борозни, утвореної лапою при $W_{0-5} = 10,4$ %, $W_{5-10} = 17,2$ % і $b = 35$ см: з відвальниками при $\gamma_B = 45^\circ$ і $R_B = 0,1$ м і з закрilками при $\beta_3 = 40^\circ$; $\beta_3^I = 95^\circ$; $\psi_3 = 20^\circ$; $\gamma_3 = 25^\circ$; $B_3 = 80$ мм.

Швидкість руху, м/с (передача трактора ЮМЗ-6)	Встановлена глибина ходу		Кут входження в ґрунт β_B , град.	Фактичне середнє значення та СКВ параметра борозни, см								Якість утворення в балах			
	лапи h, см	відвальників h _в , см		b ^I		b ^{II}		H _б		h ^I		борозни	валу	разом	
				середнє	СКВ	середнє	СКВ	середнє	СКВ	середнє	СКВ			середнє	СКВ
3,1(3)	8	5	25	23,5	2,3	38,2	2,8	10,3	1,6	4,2	0,4	2,3	2,2	4,5	0,4
2,5(2)	8	5	25	23,4	2,2	36,6	2,5	11,6	1,4	4,0	0,4	2,2	2,1	4,3	0,4
3,1(3)	8	-	(40)	28,4	2,0	36,3	2,4	5,7	1,2	2,3	0,6	1,3	1,1	2,4	0,3
2,5(2)	8	-	(40)	27,8	1,8	32,5	2,4	5,9	1,1	2,1	0,5	1,2	1,2	2,4	0,3

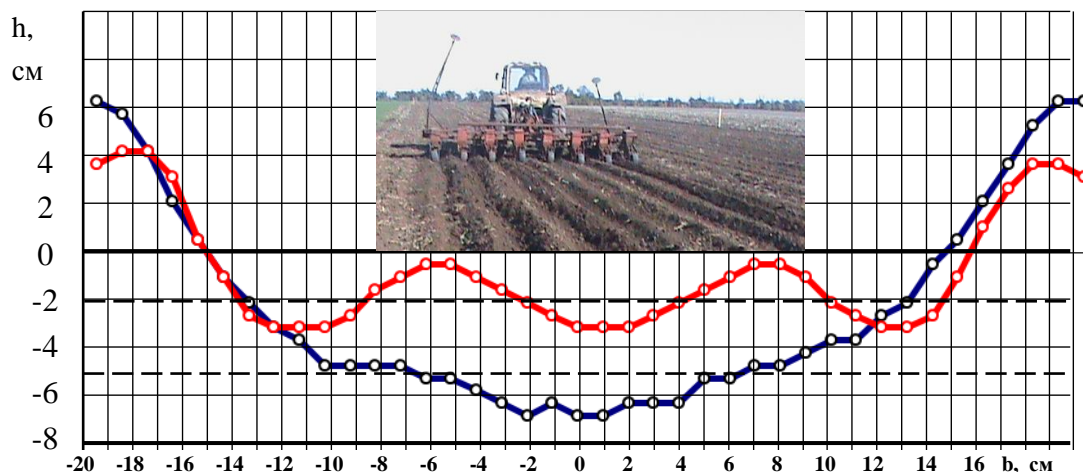


Рис. 14. Усереднений профіль борозни, утвореної при $W_{0-5} = 10,4$ %, $V = 2,5$ м/с і $h = 8$ см: — відвальниками, з: $h^I = 5$ см; $\beta_B = 25^\circ$; $\beta_3^I = 95^\circ$; — закрilками, з: $\beta_3 = 40^\circ$; $\beta_3^I = 95^\circ$; $\psi_3 = 20^\circ$; $\gamma_3 = 25^\circ$; $B_3 = 80$ мм.

Таблиця 2

Експлуатаційні показники комбінованих агрегатів
на базі сівалки СУПН-6 з трактором ЮМЗ-6

Найменування параметра	Позначка	Одиниця вимірювання	Значення параметра для агрегату з	
			відвальниками	закрilками
Робоча передача трактора	j	-	2	2
Робоча швидкість агрегату	V_{pj}	км/год.	7,8	8,0
Коефіцієнт використання часу зміни	τ	-	0,608	0,603
Технічна годинна продуктивність	$W_{ТГ}$	га/год.	1,99	2,03
Питома витрата палива	g_w	кг/га	3,82	3,56

Спостереження на посіві кукурудзи показали перевагу борозенної технології, особливо при використанні комбінованого агрегату з відвальниками (табл. 3).

Таблиця 3

Показники вирощування кукурудзи за різними технологіями

Показник	Технологія вирощування			
	Індустріальна	Борозенна з		Безгербицидна
		відвальниками	закрилками	
Норма висіву насіння, тис./га	41,5	41,5	41,5	41,5
Густота при збиранні, тис./га	32,2	39,2	36,7	30,8
Вага бур'янів при збиранні, г/м ²	43,5	52,6	59,8	343,0
Урожай зерна при 14 % вологості, ц/га	37,5	41,7	40,2	26,7
Кількість гербицидів, кг/га	3,0	1,5	1,5	0,0
Витрати палива, кг/т	18,27	18,08	18,58	27,85

У четвертому розділі «Техніко-економічна ефективність розробок» подаються розрахунки економічної ефективності впровадження комбінованого агрегату для утворення борозен, смугового підґрунтового внесення гербицидів і посіву кукурудзи на базі сівалки СУПН-8(6).

В результаті аналізу отриманих даних встановлено, що впровадження борозенної технології вирощування кукурудзи з використанням нового комбінованого агрегату у порівнянні із серійною технологією вирощування цієї культури дозволить підвищити продуктивність праці щонайменше на 23 %, питомі витрати палива зменшити на 29 % і знизити експлуатаційні витрати на 8 %.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено нову науково-технічну задачу – встановлення наукових закономірностей, які дозволяють обґрунтовано поєднати в одній конструкції робочі органи для сівби кукурудзи, агрохімічного та механічного обробитку ґрунту, а також встановити бажаний режим одночасного виконання цих технологічних операцій. На основі проведених досліджень отримано такі основні висновки:

1. Встановлено, що при вирощуванні кукурудзи в умовах південної степової зони ефективним заходом є застосування борозенної технології зі смуговим підґрунтовим внесенням гербицидів. Водночас, існуючі для цього робочі органи потребують істотного удосконалення як конструкції, так і показників режиму їх роботи.

2. Із аналізу залежностей, які зв'язують конструктивні параметри тригранного та нахиленого двогранного клинів, встановлено, що для формування заданої борозенно-смугової гребеневої поверхні доцільно використовувати відвальники з постійними кутом розхилу і радіусом кривизни та перемінним кутом кришення ґрунту. При швидкості робочого руху 7–9 км/год таким вимогам відповідає борозноутворюю-

вач у вигляді двобічного відвальника, горизонтально-циліндрична поверхня якого має висоту 10–12 см, радіус кривизни 10 см, кут розхилу 45° та кути кришення $\beta_B = 25^\circ$ і $\beta_B^I = 95^\circ$.

3. В результаті математичного моделювання встановлено, що шарнірно-пружне агрегування комбінованого робочого органу спричинює підвищення амплітуди його коливань у поздовжньо-вертикальній площині. Особливо це відчутно на частотах 1,3–1,6 Гц, які репрезентують коливання мікрорельєфу поля. Суттєве (до 20 разів) зменшення коливань борозноутворювача можливе при обладнанні його пружиною, жорсткість якої має бути більшою за 20 кН/м.

4. Тяговий опір одного комбінованого робочого органу для утворення борозенно-гребеневої поверхні і борозенно-смугового внесення гербіцидів за вологості ґрунту 14–16 % становить 0,7–1,0 кН. Це дозволяє на базі трактора тягового класу 1,4 сформувати щонайменше шестирядний посівний агрегат з міжряддями 70 см, робоча швидкість якого становитиме не менше 8 км/год.

5. Для забезпечення якісного смугового підґрунтового внесення гербіцидів слід використовувати двобічну лапу-бритву з суцільним верхнім екраном та дефлекторним розпилювачем, який має кут розпилювання $70\text{--}90^\circ$, а створювана ним площа внесення рідини є паралельною до площини леза лапи-бритви.

6. Якщо за якістю формування ширини профілю борозни різниці між комбінованими робочими органами з відвальниками і закрilками майже немає, то за формою і глибиною дна – вона є. Більш наближене до бажаного дно борозни (особливо в умовах менш вологого ґрунту) формує борозноутворювач, обладнаний відвальниками.

7. Експериментально встановлено, що розпилювання гербіциду на підшву борозни є більш прийнятним, оскільки у порівнянні з розпилюванням на розпушений ґрунт формує смугу, ширина якої в середньому на 5 см менша (27 см проти 32 см), а стабільність (за величиною довірчого інтервалу) – у 2,5 рази вища.

8. Підготовка борозни комбінованим робочим органом із відвальниками дозволяє здійснити висів насіння кукурудзи на глибину $6,3 \pm 1,1$ см. Це створює кращі умови для його росту у порівнянні з варіантом використання борозноутворювача із закрilками, застосування яких забезпечує сівбу насіння кукурудзи на глибину лише $3,8 \pm 0,7$ см.

9. Впровадження агрегату для борозенної сівби кукурудзи з одночасним підґрунтовим смуговим внесенням гербіцидів дозволить підвищити продуктивність праці в середньому на 23 %, зменшити питомі витрати палива на 29 % і знизити експлуатаційні витрати щонайменше на 8 %. Економічний ефект від застосування наукової розробки становить при цьому не менше 143 грн./га.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За проведеними дослідженнями та виробничими випробуваннями встановлено доцільність впровадження агрегату для борозенної сівби кукурудзи з одночасним підґрунтовим смуговим внесенням гербіцидів. Розроблені технологічні карти та підібрана система машин для ефективного вирощування кукурудзи на зерно в агропромислових підприємствах посушливої зони Півдня України за борозенною технологією із застосуванням комбінованого агрегату для утворення борозен, смугового підґрунтового внесення гербіцидів і посіву кукурудзи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Шабала М.О. Ґрунтозахисна технологія вирощування просапних культур / М.О. Шабала, М.В. Зоря // Праці ТДАТА: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2000. – Вип. 1. Т. 12. – С. 17–20.
2. Зоря М.В. Оптимізація режиму роботи посівного агрегату при енергозберігаючій технології вирощування кукурудзи / М.В. Зоря // Праці ТДАТА: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2001. – Вип. 1. Т. 18. – С. 76–81.
3. Шабала М.О. Технологія стрічкового вирощування кукурудзи на ділянках гібридизації / М.О. Шабала, М.В. Зоря // Праці ТДАТА: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2003. – Вип. 11. – С. 17–19.
4. Зоря М.В. Визначення зв'язку між параметрами тригранного і двогранного нахиленого клину / М.В. Зоря, І.В. Баєв // Праці ТДАТА: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2006. – Вип. 35. – С. 10–13.
5. Баєв І.В. Дослідження відкидання ґрунту вертикальним двограним нахиленим клином / І.В. Баєв, М.В. Зоря // Праці ТДАТА: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2006. – Вип. 35. – С. 23–36.
6. Баєв І.В. Дослідження відкидання ґрунту відвальником / І.В. Баєв, М.В. Зоря // Праці ТДАТА: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2006. – Вип. 36. – С. 59–67.
7. Зоря М.В. Порівняльна експлуатаційна оцінка комбінованих агрегатів для борозенного посіву / М.В. Зоря // Праці ТДАТУ: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2009. – Вип. 9. Т. 3. – С. 47–53.
8. Зоря М.В. Визначення параметрів дефлекторних форсунок для підґрунтового смугового внесення рідини / М.В. Зоря // Праці ТДАТУ: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11. Т. 2. – С. 216–225.
9. Зоря М.В. Установка для вимірювання тягового опору культиваторної лапи / М.В. Зоря // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь, 2012. – Вип. 2. Т. 3. – С. 121–128.
10. Скляр О.Г. Порівняльна оцінка технологій вирощування кукурудзи в південній степовій зоні України / О.Г. Скляр, М.В. Зоря // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. – Вип. 5. Т. 1. – С. 114–118.

Статті у закордонних виданнях

11. Zorya M. A study of the movement dynamics of the working tool for the furrow formation / M. Zorya, S. Ivanovs // Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering. – Poznan, 2015. – Vol. 60 (2).

Патенти

12. Пат. 20954 Україна, МПК⁵ А01С 5/00, А01В 13/02 Борозноутворювач / І.В. Баєв, М.В. Зоря, В.М. Кюрчев, М.О. Шабала. – u200609806; заявл. 13.09.2006; опубл. 15.02.2007, Бюл. №2.

Статті в інших виданнях

13. Шабала М.О. Енергозберігаюча технологія вирощування кукурудзи / М.О. Шабала, М.В. Зоря // Пропозиція. – 2000. – №4. – С. 100–101.
14. Шабала М.О. Ґрунтозахисна технологія вирощування кукурудзи / М.О. Шабала, Т.С. Чорна, М.В. Зоря // Agroexpert. – 2009. – №4 (9). – С. 10–11.

Матеріали наукових конференцій

15. Зоря М.В. Комбіноване знаряддя для борозенно-смугового посіву кукурудзи / М.В. Зоря // Розвиток наукових досліджень 2012: 8 міжнародна науково-практична конференція, 19–21 листопада 2012 р.: тези доп. – Полтава, 2012. – С. 36–38.

16. Касьянов М.А. Екологічні аспекти застосування борозенної технології вирощування кукурудзи на зерно на півдні України / М.А. Касьянов, М.В. Зоря // Інноваційні агротехнології за умов зміни клімату: міжнародна науково-практична конференція, 7–9 червня 2013 р.: тези доп. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – С. 232–235.

АНОТАЦІЯ

Зоря М.В. Обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи комбінованого знаряддя для борозенно-смугового посіву кукурудзи. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь, 2015.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми впровадження енергозберігаючих високоефективних технологій вирощування кукурудзи в посушливій південно-степовій зоні України шляхом обґрунтування й розробки робочого органу для передпосівного утворення борозенно-гребеневої поверхні з розпушеним під посівом і борозенно-смугового внесення гербіцидів, який пропонується використовувати в складі комбінованого агрегату на базі сівалки СУПН-6 з універсально-просапними тракторами тягового класу 1,4.

Встановлено математичні залежності, які дозволяють обґрунтувати конструктивні параметри пристрою для підґрунтового смугового внесення гербіцидів у процесі борозенно-смугового посіву кукурудзи. Комбінований агрегат забезпечує технічну продуктивність близько 2 га/год. при витраті палива 3,8 кг/га. Впровадження агрегату для борозенної сівби кукурудзи з одночасним підґрунтовим смуговим внесенням гербіцидів дозволить підвищити продуктивність праці в середньому на 23 %, зменшити питомі витрати палива на 29 % і знизити експлуатаційні витрати щонайменше на 8 %.

Ключові слова: технологія, борозна, смуга, гербіцид, посів, комбінований агрегат, енергозбереження.

АННОТАЦИЯ

Зоря М.В. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы комбинированного орудия для бороздно-полосового посева кукурузы. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь, 2015.

Диссертация посвящена решению проблемы внедрения энергосберегающих высокоэффективных технологий выращивания кукурузы в засушливой южной степной зоне Украины. При таких условиях посев целесообразно проводить в борозды,

которые образуют непосредственно перед посевом, а лучше – вместе с посевом в одном агрегате.

В диссертационной работе решена новая научно-техническая задача, а именно установлены научные закономерности, позволяющие обосновано соединить в одной конструкции рабочие органы для посева кукурузы, агрохимической и механической обработки почвы, а также установить желаемый режим одновременного выполнения этих технологических операций.

Основными методами теоретических исследований были определены положения земледельческой механики, теории сельскохозяйственных машин, теории автоматического регулирования линейных динамических систем при воспроизведении ими возмущающих влияний. Экспериментальные исследования проводились как по общепринятым, так и по разработанным методикам, которые предусматривали использование современного тензометрического оборудования и компьютерной техники с соответствующим программным обеспечением.

На основании изучения литературных источников выполнен анализ современного состояния применения технологии и техники внесения почвенных гербицидов и материалов при бороздовом посеве и его совмещения с предпосевной культивацией. Рассмотрены процессы образования бороздо-гребневой поверхности поля плоскорежущими лапами с добавленными к ним на концах крыльев закрылками и плоскорежущими лапами с добавленными к ним отвальщиками.

Установлено, что для формирования заданной бороздо-гребневой поверхности целесообразно использовать отвальщики с постоянным углом раствора и радиусом кривизны, но переменным углом крошения почвы. При рабочей скорости движения 7–9 км/час таким требованиям отвечает бороздообразователь в виде двухстороннего отвальщика, горизонтально-цилиндрическая поверхность которого имеет высоту 10–12 см, радиус кривизны 10 см, угол раствора 45° и углы крошения $\beta_v = 25^\circ$ и $\beta_v^I = 95^\circ$.

Тяговое сопротивление одного комбинированного рабочего органа для образования бороздо-гребневой поверхности поля и бороздо-полосового внесения гербицидов при влажности почвы 14–16 % составляет 0,7–1,0 кН. Это позволяет на базе трактора тягового класса 1,4 сформировать как минимум шестирядный посевной агрегат с междурядьем 70 см, рабочая скорость которого будет составлять не меньше 8 км/час.

В результате математического моделирования установлено, что шарнирно-упругое агрегатирование комбинированного рабочего органа вызывает повышение амплитуды его колебаний в продольно-вертикальной плоскости. Особенно это ощутимо на частотах 1,3–1,6 Гц, которые представляют колебания микрорельефа поля. Существенное (до 20 раз) уменьшение колебаний бороздообразователя возможно при оборудовании его пружиной, жесткость которой должна быть больше 20 кН/м.

Экспериментально установлено, что распыление гербицида на подошву борозды является более приемлемым, поскольку по сравнению с распылением на разрыхленный грунт формирует полосу, ширина которой в среднем на 5 см меньше (27 см против 32 см), а стабильность (по величине доверительного интервала) – в 2,5 раза выше.

Подготовка борозды комбинированным рабочим органом с отвальщиками

позволяет осуществить посев семян кукурузы на глубину $6,3 \pm 1,1$ см. Это создает лучшие условия для их роста в сравнении с вариантом использования бороздообразователя с закрылками, применение которых обеспечивает посев кукурузы на глубину всего лишь $3,8 \pm 0,7$ см.

Комбинированный агрегат обеспечивает техническую производительность около 2 га/час при расходе топлива 3,8 кг/га. Внедрение агрегата для бороздового посева кукурузы с одновременным подпочвенным полосовым внесением гербицидов позволит повысить производительность труда в среднем на 23 %, уменьшить удельный расход топлива на 29 % и снизить эксплуатационные расходы как минимум на 8 %.

По проведенным исследованиям и производственным испытаниям установлена целесообразность внедрения агрегата для бороздового посева кукурузы с одновременным подпочвенным внесением гербицидов. Для эффективного возделывания кукурузы на зерно в агропромышленных предприятиях засушливой южной зоны Украины разработаны научно-методические рекомендации по применению комбинированного агрегата для образования борозд, ленточного подпочвенного внесения гербицидов и посева кукурузы.

Ключевые слова: технология, борозда, полоса, гербицид, посев, комбинированный агрегат, энергосбережение.

ANNOTATION

Zorya M.V. Substantiation of constructive parameters and operating modes of the combined tools for strip-furrow cropping of maize. – Manuscript.

Dissertation for a degree of candidate of technical science, specialty 05.05.11 – machines and mechanization of agricultural production. – Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, 2015.

The resolving of implementation problem of energy save high performance technologies of maize growing in the drought south steppe zone of Ukraine by means of substantiation and design of movable operating for presowing formation of ridge-furrow surface with loosened for sowing bottom and furrow-strip applying of herbicides is grounded in the dissertation. The movable operating is offered to be used in structure of the combined unit on the basis of a seeder СУПН-6 with tractors pulls of a class 1,4.

The mathematical dependence allowing substantiating the constructive parameters of device for subsoil strip herbicides applying in the process of furrow-strip cropping of maize is established.

The combined unit provides technical productivity about 2 га/h at the charge of fuel 3,8 kg/ga. The implementation of device for maize furrow cropping simultaneously with the subsoil strip herbicides applying will allow increasing the labour productivity on the average on 23 %, to reduce the unit costs of petrol on 29 % and to decrease the operating cost at least on 8 %.

Key words: technology, furrow, strip, combined unit, energy save, herbicide, cropping.

Підписано до друку « 28 » вересня 2015 р. Зам. №226
Формат 60×84/16. Умовн.-друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим.

Віддруковано у Таврійському державному
агротехнологічному університеті.

Адреса: 72310, Запорізька область, м. Мелітополь,
пр-т Б. Хмельницького, 18

