

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

ПАЩЕНКО Володимир Філімонович

УДК 631.31

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСОБИ
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ
ПРОЦЕСІВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному аграрному університеті ім. В.В.Докучаєва Міністерства аграрної політики України.

Науковий консультант: заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор

Шабельник Борис Петрович,

Харківський національний технічний університет сільського господарства, кафедра механізації тваринницьких ферм.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, академік-секретар УААН, професор Гуков Яків Серафимович, ННЦ ІМЕСГ, директор;

доктор технічних наук, член-кореспондент УААН, професор Кушнар'юв Артур Сергійович, Таврійська державна агротехнічна академія, завідувач кафедри теоретичної механіки і ТММ;

доктор технічних наук, професор Дубровін Валерій Олександрович, Національний аграрний університет, директор НДІ техніки і технологій.

Провідна установа: Луганський національний аграрний університет, кафедра сільськогосподарських машин, Міністерство аграрної політики, м. Луганськ.

Захист відбудеться 03.11.2005 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Артема, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці університету.

Автореферат розісланий 28.09.2005 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

О.Д. Черенков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Проблема зниження негативної дії засобів механізації на ґрунт виникла в 20-ті роки минулого століття, продовжує існувати і загострюється по мірі збільшення інтенсифікації виробництва і маси сільськогосподарської техніки. Робочі органи ґрунтообробних машин не забезпечують раціональної дії на ґрунт, яка з точки зору досягнень агрономічної науки та еколого-економічних вимог повинна бути направлена тільки на усунення невідповідностей між рівноважними й оптимальними його агрофізичними параметрами.

Вирішення проблеми еколого-економічного удосконалення процесів обробітку ґрунту потребує використання комплексного підходу в рамках замкнутого технологічного циклу шляхом зменшення опору робочих органів машин і знарядь, розробкою технологічних процесів обробітку ґрунту для оптимізації його агрофізичних властивостей та удосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Актуальність теми. Сучасні засоби механізації сприяють переущільненню орного та підорного шарів, розпиленню та мінералізації ґрунту, викликають збільшення неоднорідності його будови, виникнення брил з більшою щільністю, ніж до обробітку ґрунту та зниження ефективності використання добрив.

Аналіз результатів досліджень агрономічної науки показав, що найкращі умови для проростання насіння, розвитку рослин, збереження та накопичення вологи забезпечується при диференціації орного шару ґрунту по структурному складу та щільності. Поверхневий шар ґрунту повинен складатися з грудочок розміром від 5 до 20 мм і мати ущільнений прошарок, посівний прошарок – мати дрібно-грудкувату структуру з розміром грудочок від 0,25 до 10 мм. У зоні розвитку кореневої системи щільність ґрунту повинна бути в межах 1,0...1,3 г/см³.

Відомі ґрунтообробні робочі органи не дозволяють за один прохід створити в ґрунті рослинам оптимальні агрофізичні умови, мають відносно велику енергоємність, металомісткість і низьку технологічну надійність.

Обробіток ґрунту займає 30...40 % від загальних прямих витрат на вирощування сільськогосподарських культур. Ступінь використання повних питомих витрат енергії при обробітку ґрунту становить близько 16%. Решта енергії витрачається на виконання процесів у самих машинах. Отже, найбільш суттєву економію енергетичних витрат можна одержати за рахунок зменшення кількості проходів агрегатів по полю, що до того ж забезпечить зменшення щільності ґрунту та збереження його родючості.

У зв'язку з цим робота, яка націлена на досягнення нових науково обґрунтованих результатів удосконалення технологій, машин, елементів конструкцій тощо у сільськогосподарському виробництві й у сукупності розв'язує значну прикладну проблему еколого-економічного удосконалення процесів обробітку ґрунту, може бути віднесена до важливого й актуального напрямку досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Теоретичні та експериментальні дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконані в ХНАУ ім. В.В.Докучаєва в період 1982-2005 рр. відповідно до: державної програми О.СХ. 31.02. (1981-1985 рр.); державної програми „Виробництво технологічних комплексів машин і обладнання для агропромислового комплексу на період 1998-2005 рр. (ДР № 1341). Дослідження проводилися у рамках держбюджетної тематики кафедри механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва ХНАУ ім. В.В.Докучаєва „Розробити ґрунтозахисну, ресурсозберігаючу систему основного обробітку ґрунту в сівозмінах Лівобережного Лісостепу”, спрямовану на збереження родючості ґрунтів, номер держреєстрації 0197U008168, у співдружності з Національним науковим центром „Інститут ґрунтознавства і агрохімії” УААН і Інститутом цукрових буряків УААН.

Мета і завдання досліджень – підвищення еколого-економічної ефективності вирощування сільськогосподарських культур шляхом зменшення витрат енергії на обробіток ґрунту та зниження негативної дії на нього засобів механізації.

Відповідно до поставленої мети для вирішення проблеми еколого-еко-номічного удосконалення процесів обробітку ґрунту намічені такі завдання:

- розробити теорію математичного моделювання процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом на основі використання прямих методів варіаційного числення;
- розробити засоби еколого-економічного обробітку ґрунту, які б забезпечили оптимізацію агрофізичних властивостей орного шару ґрунту шляхом об'єднання процесів подрібнення та сепарації грудок, і визначити вплив їх параметрів на якісні та енергетичні показники роботи;
- створити основи теорії для обґрунтування параметрів запропонованих робочих органів;
- провести польові випробування експериментальних машин і знарядь та визначити техніко-економічну доцільність їх впровадження у виробництво;
- визначити шляхи зменшення втрат енергії на обробіток ґрунту та негативного впливу засобів механізації на нього в технологіях вирощування

просапних культур з використанням високопродуктивної сільськогосподарської техніки.

Об'єкт досліджень – технологічні процеси обробітку ґрунту, конструкційно-технологічні схеми машин та їх робочих органів, технології вирощування сільськогосподарських культур.

Предмет досліджень: механіко-технологічні засоби еколого-економічного удосконалення процесів обробітку ґрунту.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проводилися на основі механіко-математичного моделювання процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом. Застосовано методи вищої математики, класичної механіки, варіаційного числення. Експериментальні дослідження виконувалися за галузевими та розробленими методиками із застосуванням тензометричних засобів і методів планування багатofакторних експериментів.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше одержана теорія математичного моделювання з використанням прямого варіаційного числення для рішення задач землеробної механіки у дво- і тримірних просторах.

2. Набула подальшого розвитку теорія обґрунтування параметрів робочих органів активно-пасивної дії для операцій кришіння та сепарації структурних елементів ґрунту.

3. Розроблена теорія складання математичних моделей взаємодії робочих органів з ґрунтом з урахуванням взаємозв'язків показників якості та енергоємності технологічних процесів.

4. Набула подальшого розвитку теорія граничного стану сипкого середовища в напрямку вивчення процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом.

5. Вперше одержана математична модель взаємодії з ґрунтом робочих органів з гнучким елементом для обробки поверхневого прошарку ґрунту з мінімальними витратами енергії та забезпечення умов збереження вологи.

Практичне значення одержаних результатів. Застосування теорії складання математичних моделей взаємодії ґрунтообробних органів з ґрунтом дозволяє знаходити раціональні, з точки зору їх енергоємності, профілі із заданими технологічними параметрами обробітку ґрунту.

Використання запропонованих виробництву робочих органів машин і знарядь для обробітку посівного та поверхневого прошарків ґрунту за один прохід агрегатів забезпечує створення диференційованого за структурою та щільністю складу ґрунту, який відповідно до агротехнічних вимог є оптимальним для проростання насіння та розвитку рослин.

Використання інтегрального трактора тягового класу 3 з набором нових сільськогосподарських машин у технології вирощування цукрових буряків дає можливість зменшити, в порівнянні з традиційною системою машин, нега-

тивний вплив засобів механізації на ґрунт, строки виконання польових робіт, витрат праці та енергоресурсів за рахунок скорочення кількості проходів агрегатів по полю.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень використані ВАТ „ХТЗ”, Галещинським машзаводом та інститутом „Машин і систем” при розробці технічної документації та виготовленні дослідних зразків машини для обробки орного шару ґрунту.

За результатами досліджень Кіровоградським проектно-конструкторським інститутом розроблено технічну документацію та виготовлено комбіновану машину для оптимізації агрофізичних властивостей посівного шару ґрунту при вирощуванні кукурудзи.

На кафедрі механізації сільськогосподарського виробництва Харківського НАУ ім. В.В.Докучаєва зроблено макет ґрунтообробної машини для підготовки ґрунту під посів цукрових буряків.

Робочий орган для обробки поверхневого (до 4 см) шару ґрунту простий за конструкцією і може бути виготовлений в умовах майстерень сільськогосподарських підприємств. Використовується в господарствах Харківської області з 1992 р.

Розроблений інтегральний орно-просапний трактор ХТЗ-12131 пройшов державні випробування та прийнятий ВАТ „ХТЗ” у серійне виробництво. Технологію вирощування цукрових буряків із застосуванням інтегрального трактора та набору високопродуктивних сільськогосподарських машин упроваджено на площі більше 2000 га в дослідному господарстві інституту буряків „Пархомівське” Краснокутського району Харківської області та СТОВ „Дружба” Магдалинівського району Дніпропетровської області.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, написаних у спів-авторстві, особистий внесок полягає в наступному.

1. У роботах [14; 26], присвячених обґрунтуванню раціональних профілів робочих органів:

- розробці теорії рішення задач землеробної механіки з використанням прямих методів варіаційного числення;
- плануванні, керуванні та участі в проведенні експериментальних досліджень.

2. У роботах [2-6; 8; 10; 13; 15; 18; 22; 27-38; 41-43; 47-49], пов'язаних з розробкою технологічних процесів і параметрів робочих органів для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту:

- обґрунтуванні технологічного процесу та робочих органів експериментальних машин;
- складанні математичних моделей взаємодії запропонованих робочих органів з ґрунтом і обґрунтуванні їх раціональних параметрів;

- плануванні, керуванні та участі в проведенні експериментальних досліджень;

- розробці технічних завдань до конструкторської документації для виготовлення експериментальних машин і знарядь;

3. У роботах [8; 9; 11; 12; 20; 23; 24; 39; 40; 44; 46; 50-52] по удосконаленню технології вирощування просапних культур:

- проведенні досліджень по визначенню впливу ходових систем на властивості ґрунту;

- розробці заходів зменшення негативного впливу ходових систем тракторів на ґрунт у технологіях вирощування просапних культур;

- розробці технічних завдань до конструкторської документації для виготовлення експериментальних машин і знарядь.

Апробація результатів досліджень. Основні положення виконаних досліджень доповідалися і одержали схвалення на конференціях професорсько-викладацького складу ХНАУ (Харків, 1982-2003); Міжнародному симпозиумі з питань зниження витрат енергії на обробіток ґрунту (Прага, 1982); технічній раді УкрНДІСГОМ (Харків, 1982); республіканській науково-технічній конференції „Шляхи розвитку механізації виробництва зерна в УРСР” (Глеваха, 1988); Всесоюзній науково-технічній конференції з питань землеробної механіки (Москва, 1989); Всесоюзній науково-технічній конференції „Землеробна механіка і програмування врожаїв” (Волгоград, 1990); Міжнародному симпозиумі з проблем будування сільськогосподарських машин (Польща, 1991, 1997); Міжнародній конференції з питань розвитку механізації, електрифікації та автоматизації сільського господарства в умовах ринкових відносин (Глеваха, 1994); науково-виробничій конференції, присвяченій 50-річчю факультету інженерів-землевпорядників ХНАУ (Харків, 1994); технічній раді ВАТ Харківського тракторного заводу (1995, 1996, 1999, 2001, 2004); технічній раді заводу „Червона зірка” (Кіровоград, 1996); засіданні науково-технічної ради Мінмашпрому, Мінсільгосппроду та Української ААН (Харків, 1997); технічній раді Бородянського екскаваторного заводу (Бородянка, 1998), обласних семінарах „Технологія вирощування цукрових буряків” (Пархомівка, 1998, 2000; СТОВ „Дружба”, 2003, 2004); ювілейній науково-технічній конференції, присвяченій академіку П.М.Василенку (Харків, 2003).

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований в 52 друкованих працях, в числі яких – 1 монографія, 8 авторських свідоцтв, 4 патенти.

Структура та об’єм дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел та 16 додатків. Основний зміст викладено на 267 сторінках друкарського тексту. Робота мі-

стить 83 рисунки на 67 с., 38 таблиць на 35 с. Список використаних літературних джерел містить 241 назву. Загальний обсяг роботи становить 335 с.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** розглянуті передумови еколого-економічного удосконалення процесів обробки ґрунту, в яких аналізуються сучасні засоби механізації. Проведено аналіз їх роботи з точки зору збереження родючості ґрунтів, енергії та якості виконання технологічних процесів його обробки.

Дослідження *П.А. Костичева, В.Р. Вільямса, Н.А. Кочинського, І.Б. Ревута* та багатьох інших вчених показали, що найкращі умови для росту та розвитку рослин забезпечуються при структурі орного шару ґрунту з розмірами грудочок від 0,25 до 10 мм. *В.В. Медведєв* зробив важливе уточнення: найбільш оптимальні умови для рослин забезпечуються при диференціації орного шару ґрунту за структурним складом і щільністю (рис. 1). Поверхневий прошарок ґрунту (до 4 см) повинен складатися з більших грудочок розміром від 5 до 20 мм, посівний прошарок – мати дрібно-грудкувату структуру з розміром грудочок від 0,25 до 10 мм. Така структура насінневого шару ґрунту не тільки забезпечує оптимальну аерацію насіння, а й створює найкращі умови для накопичення вологи і контакту з твердою фазою ґрунту. Ущільнений прошарок у поверхневому шарі ґрунту стримує непродуктивні втрати вологи.

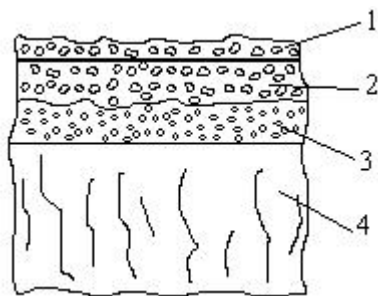


Рис. 1. Схема будови орного шару ґрунту з оптимальними агрофізичними властивостями прошарків:

1 – поверхневий; 2 - ущільнений; 3 – насінневий; 4 – кореневий

Рівноважна щільність нижніх шарів чорноземних структурних ґрунтів, навіть без механічних обробок, перебуває в межах оптимуму ($1,0 \dots 1,3 \text{ г/см}^3$) при вологості, близькій до стану фізичної зрілості, що підтверджує відому вимогу до обробки ґрунту: забезпечення умов для накопичення та збереження в ньому вологи.

Недоліки відомих ґрунтообробних машин і знарядь не дозволяють за один прохід агрегату за-

безпечити виконання всіх вимог агротехніки щодо оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту. Традиційні комбіновані машини, які складаються з набору різних типів робочих органів, забезпечують зменшення кількості проходів агрегатів по полю і підвищення якості обробки ґрунту. Але ж вони мають такі недоліки, як велику металомісткість, низьку технологічну надій-

ність в роботі та ін. До того ж сучасні комбіновані машини не спроможні в достатньо повній мірі забезпечити вимоги агротехніки до диференціації шару, що обробляється, за структурним складом і щільністю ґрунту.

Для підвищення якості обробітку ґрунту та поліпшення процесу сепарації його структурних елементів робочі органи підрізаючого типу обладнуються додатковим пристроєм. Робочими органами машини є підрізаюча лапа, сепаруюча решітка та ротор. Машина працює так: лапа підрізає шар ґрунту знизу та подає його на сепаруючу решітку; ножі ротора переміщують ґрунт по решітці з одночасним його дрібненням. Дрібні частини ґрунту проходять крізь зазори сепаруючої решітки, великі виштовхуються на поверхню ножами ротора, які переміщуються між прутками сепаруючої решітки, що забезпечує очистку їх від ґрунту та рослинних решток.

Для обробітку поверхневого прошарку ґрунту (0...4 см) із забезпеченням його мінімального перемішування, створення ущільненого прошарку та вирівнювання мікронерівностей поверхні поля може бути використаним робочий орган з гнучким елементом у вигляді проволочки або тросу.

Одним із аспектів завдань дослідження є створення теорії технологічних процесів функціонування робочих органів для оптимізації агрофізичних властивостей орного шару ґрунту. На основі аналізу проблеми сформульовані мета й завдання досліджень.

У **другому розділі** „Теоретичне обґрунтування профілів робочих органів ґрунтообробних машин та знарядь” зазначено, що якість виконання робіт і кількість витраченої енергії в значній мірі залежать від геометричного профілю поверхні робочого органу. Обґрунтуванням профілів ґрунтообробних робочих органів займалися *В.П.Гарячкін, П.М.Василенко, А.С.Кушнар'юв, Я.Є.Луков, І.М.Панов, Г.М.Сінсоков, А.М.Зеленін, В.І.Корабельський, В.О.Дубравін, А.Ф.Бабицький, І.А.Шевченко* та багато інших. Використовуються експериментальні та графоаналітичні методи, принципи теорії сипких середовищ, пластичної плинності тощо. Але їх застосування не завжди дозволяє знайти раціональне рішення задач. *П.М.Василенко, П.С.Короткевич, В.П.Третьяк, Б.А.Неф'юдов* та інші дослідники використовували методи варіаційного числення для обґрунтування профілів робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь.

Розв'язок варіаційних задач забезпечується диференціальним рівнянням Ейлера. Такі рівняння вдається розв'язати аналітично дуже рідко, тому для їх вирішення використовують, як правило, числові методи. До того ж незначне поглиблення вивчення процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом суттєво ускладнює одержання та вирішення рівнянь Ейлера. Тому методи варіаційного числення не набули широкого застосування при обґрунтуванні парамет-

рів робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь. У зв'язку з цим для рішення задач землеробної механіки пропонується використовувати прямі методи варіаційного числення.

Показники якості та енергоємності обробітку ґрунту визначаються типом і параметрами робочого органу, режимами роботи агрегату і агрофізичними властивостями ґрунту в період його обробітку. У реальних умовах ці властивості дуже різноманітні і їх важко формалізувати для отримання аналітичних залежностей, які описують якісні показники обробітку ґрунту. До того ж питання аналітичного описування процесів в ґрунті під дією ґрунтообробних робочих органів вивчені недостатньо.

Узагальненими показниками фізико-механічних властивостей ґрунту та енергоємності його обробітку з достатньою для практики точністю можуть бути: нормальний тиск ґрунту на поверхню робочого органу; коефіцієнт тертя цього органу об ґрунт. Ці показники відносно легко формалізуються при складанні енергетичних функціоналів.

Клас допустимих функцій обирається за параметрами обробітку ґрунту й конструктивними особливостями машин і знарядь. Якщо задача не передбачає жорсткі вимоги до граничних умов, то її доцільно вирішувати з допомогою методів варіаційного числення з плаваючими границями. Це дозволяє винайти найбільш раціональний профіль робочого органу з точки зору збереження енергії на операції обробітку ґрунту.

Позитивним є також те, що отримані дотепер результати теоретичних та експериментальних досліджень, які не використані при складанні функціоналів і виборі допустимих функцій, можуть бути враховані у вигляді додаткових умов.

Методика складання математичних моделей взаємодії робочих органів з ґрунтом у двовірному просторі на основі застосування прямого варіаційного числення включає такі етапи:

- побудову схеми дії сил на робочий орган і вибір системи відрахування;
- визначення закономірностей розподілу питомого тиску ґрунту на поверхні робочого органу

$$q = f_1(x, y, y'); \quad (1)$$

- складання енергетичного функціоналу

$$J = \int_{\Omega} F(q, x, y, y') d\Omega; \quad (2)$$

- знаходження голономних і неголономних рівнянь зв'язку, які вводять обмеження на профіль робочого органу з точки зору якісних показників його роботи, отриманих на основі раніше проведених досліджень

$$\varphi_i(x, y) = 0; \quad \varphi_j(x, y, y') = 0; \quad (3)$$

- для задач з рухомими кінцями записуються рівняння кривих, які визначають допустиме положення кінцевих точок

$$y_0 = \varphi_0(x_0); \quad y_1 = \varphi_1(x_1); \quad (4)$$

а також умов трансверсальності між кривими профілю робочого органу та кривими, які описують допустиме положення кінцевих точок

$$\left[F + F'_y(\varphi'_0 - y') \right]_{x=x_0} = 0; \quad \left[F + F'_y(\varphi'_1 - y') \right]_{x=x_1} = 0; \quad (5)$$

- вибір виду кривої, що описує профіль робочого органу та задовольняє кінцевим умовам записується у вигляді поліному

$$y = y'_0 x + \frac{x^2(y_k - x_k y'_0)}{x_k^2} + C_1 x(x - x_k) + C_2 x^2(x - x_k) + \dots + C_n x^n(x - x_k), \quad (6)$$

де $C_1 \dots C_n$ – коефіцієнти;

чи у вигляді функції

$$y = C_1 \left\{ \exp[C_2 x^2(x_k - x)] - 1 \right\} + y'_0 x + \frac{x^2(y_k - x_k y'_0)}{x_k^2} \quad (7)$$

або з використанням кубічних B -сплайнів

$$y = y'_0 x + \frac{x^2(y_k - x_k y'_0)}{x_k^2} + x(x_k - x) \sum_{i=0}^N C_i B_i, \quad (8)$$

де

$$B_i = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{2}{3} - \sigma_{in}^2 + \frac{1}{2} |\sigma_{in}|^3 & \text{для } i-1 \leq \sigma_{in} \leq i+1; \\ \frac{1}{6} (2 - |\sigma_{in}|)^3 & \text{для } i-2 \leq \sigma_{in} < i-1; \\ 0 & \text{для } i+1 < \sigma_{in} \leq i+2; \\ 0 & \text{для } \sigma_{in} < i-2; \quad \sigma_{in} > i+2 \end{array} \right\} \quad (9)$$

та

$$\sigma_{in} = (x - x_{i+2})/h_p; \quad h_p = (x_k - x_0)/N; \quad (10)$$

- підстановку вибраних рівнянь у функціонал, диференціювання за коефіцієнтами і прирівнювання похідних до нуля

$$\frac{\partial J}{\partial C_i} = \int_{x_0}^{x_1} \frac{\partial F_1(q; x; y; y')}{\partial C_i} dx = 0; \quad (11)$$

- розв'язання одержаної системи із врахуванням рівнянь зв'язку та трансверсальності, знаходження значення коефіцієнтів $C_1, C_2 \dots C_i$, які й визначають профіль робочого органу.

У табл.1 наведені рівняння, які описують профілі робочих органів для різних умов їх визначення. Експериментальні дослідження показали, що об-

грунтовані раціональні робочі органи відносно традиційних мають меншу енергоємність на 15...30%.

**Рівняння кривих, які описують раціональні профілі
робочих органів**

Тип робочого органу	Умови визначення	Рівняння обґрунтованих кривих профілів робочих органів
Виштовхувач грунту з міждискового простору	Крива проходить через дві задані точки	$Z = -4,24x^2 - 34,25x^3 - 62,11x^4 - 0,078x^5$
Стійка ґрунтообробного робочого органу	Одна з граничних точок є плаваючою	$Z = -2\{\exp[5x(0,14 - x)] - 1\} + \frac{Z_k x}{0,14}$
Стійка ґрунтообробного робочого органу	З обмеженим кутом нахилу дотичної до кривої	$z = \begin{cases} -2\{\exp[6,5x(0,153 - x)] - 1\} + z'_0 x + \\ + x^2(z_k - 0,153z'_0)/0,153 \text{ при } 0 \leq x \leq 0,073 \\ x \operatorname{tg} \theta_1 \text{ при } 0,073 \leq x \leq 0,153 \end{cases}$
Леміш, по боках якого встановлені направляючі диски	Крива з перехідною точкою	$z = (x - x_0)^2 \left[\frac{z_k}{(x_k - x_0)^2} + 2,849 \frac{x_k - x}{x - x_0} - 0,143(x_k - x) \right]$
Леміш, по боках якого встановлені направляючі диски	З прямолінійною ділянкою	$z = \begin{cases} (x - x_0)^2 \left[\frac{z_k}{(x_k - x_0)^2} + 2,849 \frac{x_k - x}{x - x_0} - 0,143(x_k - x) \right] & \text{при } x_0 \leq x \leq x_1 \\ x_1 - \frac{z_1}{\operatorname{tg} \alpha_1} + x \operatorname{tg} \alpha_1 & \text{при } x > x_1 \end{cases}$
Леміш лобового різання	Із застосуванням кубічних B -сплайнів	$z = \frac{x^2}{x_k^2} z_k + (x - x_0)(x_k - x) \sum_{i=1}^{10} C_i B_i$

З використанням наведеної методики також обґрунтовано профіль крила стрілкової універсальної лапи у тримірному просторі. Функціонал для визначення тягового опору крила лапи має вигляд

$$R_x = \int_0^{x_C} \int_0^{x \operatorname{tg} \gamma} (q_x + dF_x) dx dy + \int_{x_A}^{x_B} \int_0^{y_C} (q_x + dF_x) dx dy + \int_{x_B}^{x_A} \int_0^{(x_A - x) \operatorname{tg} \gamma_2} (q_x + dF_x) dx dy, \quad (12)$$

де x_C ; y_C ; x_B ; x_A – координати відповідних точок (рис. 2); γ_1 ; γ_2 – кути між віссю OX , і відповідно, лініями OC і A_1B_1 .

Система рівнянь для визначення коефіцієнтів C_i має вигляд

$$\begin{aligned} \frac{\partial R_x}{\partial C_i} = & \int_0^{x_C} \int_0^{x \operatorname{tg} \gamma} \frac{\partial (q_x + dF_x)}{\partial C_i} dx dy + \int_{x_A}^{x_B} \int_0^{y_C} \frac{\partial (q_x + dF_x)}{\partial C_i} dx dy + \\ & + \int_{x_B}^{x_A} \int_0^{(x_A - x) \operatorname{tg} \gamma_2} \frac{\partial (q_x + dF_x)}{\partial C_i} dx dy = 0, \quad \overline{i = 1, 4}, \end{aligned} \quad (13)$$

де

$$\frac{\partial(q_x + dF_x)}{\partial C_i} = b\rho v^2 \left\{ \begin{array}{l} -\frac{(z'_x)^3}{H(1+(z'_x)^2)} \frac{\partial z}{\partial C_i} + \left(1 - \frac{h}{H}\right) \frac{(3+z'^2)z'^2}{(1+(z'_x)^2)^2} \frac{\partial z'_x}{\partial C_i} + \\ \left[(1+(z'_y)^2) \frac{\partial z'_x}{\partial C_i} - z'_x z'_y \frac{\partial z'_y}{\partial C_i} \right] \times \\ + \left(1 - \frac{h}{H}\right) \left\{ \times (1+(z'_x)^2 + (z'_y)^2)^{-3/2} - \right. \\ \left. - \frac{2 \cos \theta}{1+(z'_x)^2} \frac{\partial z'_x}{\partial C_i} \right\} \end{array} \right\},$$

$z = f(x; y)$ – рівняння поверхні крила стрілкової лапи, яка визначається коефіцієнтами C_i .

Після рішення системи рівнянь визначалися значення коефіцієнтів C_i і будувався профіль крила лапи (рис.2).

Рис.2. Профіль крила стрілкової лапи

Для отримання профілів ґрунтообробних робочих органів у тримірному просторі використовували прямі методи варіаційного числення, метод кінцевих елементів і ряд послідовних операцій:

- побудова схеми дії сил на робочий орган і вибір системи відрахування;
- визначення закономірності розподілу тиску ґрунту на поверхні робочого органу

$$q = f_2(x, y, z, z'_x, z'_y); \quad (14)$$

- складання функціоналу

$$J = \int_{\Omega} F_2(q, x, y, z, z'_x, z'_y) d\Omega; \quad (15)$$

- розбивання області інтегрування Ω з рівномірним шагом на прості елементи у вигляді трикутників з присвоєнням їм і кутовим точкам номерів;
- кусково-лінійну апроксимацію поверхні показують у вигляді лінійної комбінації функцій

$$z = \sum_{k=0}^N C_k \varphi_k; \quad (16)$$

де N – кількість вузлів; φ_k – базисна функція, яка визначається для всіх еле-

ментів, пов'язаних з вузлом K , $\varphi_k = \sum_{j=1}^m \varphi_k^{ej}$, m – число елементів;

- призначаються номери вузлам i, j, k з суворим збереженням для кожного елемента порядку переміщення проти стрілки годинника та будується система функцій форми

$$\varphi_i^{e_o} = \begin{cases} -\frac{1}{2S} [(x-x_j)(y_k-y_j) - (y-y_j)(x_k-x_j)] & \text{для } (x, y) \in e_o; \\ 0 & \text{для } (x, y) \notin e_o; \end{cases}$$

$$\varphi_j^{e_o} = \begin{cases} -\frac{1}{2S} [(x-x_k)(y_i-y_k) - (y-y_k)(x_i-x_k)] & \text{для } (x, y) \in e_o; \\ 0 & \text{для } (x, y) \notin e_o; \end{cases} \quad (17)$$

$$\varphi_k^{e_o} = \begin{cases} -\frac{1}{2S} [(x-x_i)(y_j-y_i) - (y-y_i)(x_j-x_i)] & \text{для } (x, y) \in e_o; \\ 0 & \text{для } (x, y) \notin e_o, \end{cases}$$

де S – площа трикутника; e_o – номер кінцевого елемента;

- задаються значення функцій для заданих кінцевих умов – $C_r \varphi_r$;
- диференціюється функціонал за C_k

$$\frac{\partial J}{\partial C_k} = \int_{\Omega} \frac{\partial F_2(q, x, y, z, z'_x, z'_y)}{\partial C_k} d\Omega = 0 \quad (18)$$

і після вирішення систем рівнянь знаходяться значення коефіцієнтів C_k .

Рис. 3. Профіль крила плоскоріжучої лапи

Із застосуванням цієї методики обґрунтовано профіль крила плоскоріжучої лапи в тримірному просторі (рис. 3).

У **третьому розділі** „Робочі органи для створення рослинам в ґрунті оптимальних умов” розроблені математичні моделі процесів взаємодії з ґрунтом робочих органів експериментальних машин.

У машині для передпосівної підготовки ґрунту та міжрядного обробітку для запобігання зсуву ґрунту з підрізаючої лапи по її боках установлюють пасивні напрямні диски.

Розглянуто взаємодію плоского диска з ґрунтом, який рухається по лемешу. У теоретичних дослідженнях одержано рівняння граничної лінії, яка поверхню диска розділяє на дві зони тертя

$$R_i = \frac{R_0 \tau}{\lambda} (\sin \alpha_i + k_1 \cos \alpha_i), \quad (19)$$

де R_0 – радіус диска; R_i – відстань від осі обертання дисків до i -ї точки; α_i – кут, який визначає положення i -ї точки на диску; $\lambda = \omega R / v_m$ – кінематичний параметр дисків; $\tau = v_{\text{п}} / v_m$ – відношення швидкостей руху ґрунту та робочих органів машини; k_1 – тангенс кута нахилу дотичної до кривої профілю лемеша.

Аналіз рівняння (19) щодо впливу сил тертя напрямних дисків на переміщення ґрунту по лемешу свідчить, що умови руху ґрунту покращуються при зменшенні радіуса дисків і кута нахилу лемеша, а також при збільшенні кінематичного параметра їх обертання та кількості ґрунту на лемеші. Результати теоретичних розробок співпадають з експериментальними дослідженнями І.М.Дорожка з вивчення впливу радіусів напрямних дисків і кінематичних параметрів їх обертання на умови руху ґрунту по лемешу.

Витрати енергії на привод ротора, технологічна надійність роботи машини в цілому залежать від пропускнуої можливості розпушуючо-сепаруючого пристрою. У результаті дослідження взаємодії ножа ротора з ґрунтом визначено залежність секундної подачі від параметрів ножа:

$$\Pi = \frac{R^2}{2} \left\langle \left\{ \begin{array}{l} 1 + \sin^2 \alpha_0 \left[\pm \left(\frac{2A_3}{\sin \alpha_0} - \frac{1}{\sin^2 \alpha_T} \right) - \frac{1}{\sin^2 \alpha_T} \right] \pm \\ \pm \sin^2 \beta \left[\frac{1 - \frac{2A_3}{\sin \alpha_0 (1 + A_2^2)}}{\sin^2 (\alpha_T + \beta - \arctg A_2)} \right] \end{array} \right\} \left(a + \frac{4}{3} A_1 R \text{tg} \gamma \right) + \right. \\ \left. + \left[\begin{array}{l} \alpha_T - \alpha_0 + \sin^2 \alpha_0 [\text{ctg} \alpha_T - \text{ctg} \alpha_0 \pm (\text{ctg} \alpha_T - A_2)] \pm \\ \pm \sin^2 \beta [\text{ctg} \beta - \text{ctg} (\alpha_T + \beta - \arctg A_2)] \end{array} \right] \times \frac{4}{3} A_3 R \text{tg} \gamma \right\} \omega \right\rangle, \quad (20)$$

де
$$A_1 = \frac{\sin[(\alpha_T - \alpha_0)/2] \cos[(\alpha_T - \alpha_0)/2 + \beta]}{\sin(\alpha_T + \beta)},$$

$$A_2 = \frac{\cos \alpha_0 - 2A_1}{\sin \alpha_0};$$

$$A_3 = \frac{1}{2} A_1 \{ \text{ctg}[(\alpha_T - \alpha_0)/2] - \text{tg}[(\alpha_T - \alpha_0)/2 + \beta] - 2 \text{ctg}(\alpha_T + \beta) \}.$$

Крім того: R – радіус ротора; ω – кутова швидкість обертання ротора; α_0 – початковий кут входження ножа у ґрунт; α_T – поточний кут повороту ножа ротора; β – кут між дотичною до ріжучої кромки ножа та радіусом-вектором; α_1 – товщина ножа ротора.

Аналіз рівняння (20) показав, що пропускну здатність розпушуючо-сепаруючого пристрою найбільш доцільно збільшувати за рахунок зменшення кута входження ножів ротора в ґрунт.

Вивчення процесу взаємодії ножа ротора з ґрунтом із застосуванням методу варіаційного числення дало змогу обґрунтувати профіль леза ножа машини для передпосівного обробітку ґрунту з мінімальними затратами енергії на функціонування її ротора

$$Z = 0,8x - 32x^2 + 144x^3. \quad (21)$$

Визначено також профіль леза ножа ротора з урахуванням зниження його захаращення рослинними рештками

$$Z = \begin{cases} 0,8x - 32x^2 + 144x^3 & \text{при } 0 \leq x \leq 0,1; \\ x \cdot \operatorname{tg} 38^\circ + C & \text{при } x > 0,1. \end{cases} \quad (22)$$

На рис. 4 показано профілі ножів роторів, побудовані за рівняннями (21) та (22).

а)

б)

Рис.4. Профілі ножа ротора машин:

а) мінімальної енергоємності; б) мінімальної енергоємності із врахуванням вимог до зменшення вірогідності забивання його рослинними рештками

Процес взаємодії з ґрунтом робочого органу у вигляді гнучкого елемента розглядався нами за гіпотезами та результатами досліджень *Т.М.Гологурського, М.Х.Пігулевського, В.П.Горячкіна, Г.М.Сінеокова, А.М.Зеленіна, А.Кулена, А.Г.Цимбала* та ін. При цьому була використана теорія граничного стану сипкого середовища.

А.М.Зеленіним була отримана залежність для визначення сил різання ножом сипкого середовища, в якому змішувальне сипке тіло розглядалося як тверде середовище в стані граничної рівноваги. Аналіз отриманої залежності не дозволив *А.М.Зеленіну* відповісти на питання: „Чому при наближенні кута різання до нуля сила різання збільшується до нескінченності та його значення не співпадає з результатами експерименту?” Тому *А.М.Зеленін* зробив висновок про те, що теорію тиску сипких тіл недоцільно використовувати для визначення сил різання ґрунту клином.

На основі використання результатів рішень системи диференціальних рівнянь граничного стану сипкого середовища в точці було одержано рівняння для визначення сили різання клином ґрунту

$$P = A_4 h (b + 2h) (1 + \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \varphi) (\gamma h / 2 + G_\omega \operatorname{ctg} \varphi) (1 - 1 / A_4), \quad (23)$$

де α – кут різання; φ – кут тертя між ґрунтом і клином; γ – щільність ґрунту; G_ω – коефіцієнт зчеплення ґрунту,

$$A_4 = \frac{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi_B},$$

де φ_B – кут внутрішнього тертя ґрунту.

На рис. 5 показана залежність сили різання клином ґрунту від кута різання при різних глибинах обробітку.

Рис. 5. Залежність сили різання клином ґрунту від кута різання при різних глибинах обробітку

Аналіз рівняння (23) показує, що збільшення сили різання до нескінченності при наближенні кута різання до нуля викликає відповідне збільшення довжини клина та сили

можливість використання теорії граничного стану сипучого середовища при вивченні процесу взаємодії робочих органів машин і знарядь з ґрунтом.

Рівняння динаміки руху шару ґрунту під дією гнучкого елемента в системі координат XOZ у вертикальній площині мають вигляд:

$$m\ddot{x} = \frac{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi_B} d_{\Pi} \left(\frac{\gamma h_0 v}{2\dot{x}} + C_\omega \operatorname{ctg} \varphi_B \left(1 - \frac{1 - \sin \varphi_B}{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha} \right) \right) \times \\ \times (1 + \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \varphi_B) + \frac{h_0 \gamma v}{g} \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)} \dot{x} \cos \psi; \quad (24)$$

$$m\ddot{z} = \frac{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha}{1 - \sin \varphi_B} d_{\Pi} \left(\frac{\gamma h_0 v}{2\dot{x}} + C_\omega \operatorname{ctg} \varphi_B \left(1 - \frac{1 - \sin \varphi_B}{1 - \sin \varphi_B \cos 2\alpha} \right) \right) \times \\ \times (\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi) - \frac{h_0 \gamma v}{g} \frac{\sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)} \dot{x} \sin \psi. \quad (25)$$

його тертя по ґрунту. Якщо розглянути клин фіксованої довжини, то площа тертя не буде залежати від кута різання, а сила різання буде мати обмежену величину.

Одержані залежності узгоджуються з результатами експериментів *Ю.А.Ветрова, АМ.Зеленіна та І.Б.Ревута*, що підтверджує

де h_0 – глибина ходу клина; ψ – кут зсуву ґрунту; d_n – діаметр поперечного розрізу гнучкого елемента; v – швидкість руху.

Після вирішення системи диференційних рівнянь отримані трансцендентні залежності кута кришіння ґрунту та відносної швидкості його руху по клину від кута внутрішнього тертя, поступової швидкості гнучкого елемента та діаметра його поперечного розрізу.

Рис. 6. Залежність кута кришіння та відносної швидкості шару ґрунту від кута внутрішнього тертя

Аналіз згаданих вище залежностей показує, що кут кришіння гнучкого елемента практично не залежить від його діаметра та поступової швидкості і визначається, в основному, кутом внутрішнього тертя ґрунту (рис. 6), значення якого відповідають умові $\alpha + \varphi < 90^\circ$.

Під дією ґрунту гнучкий елемент приймає деяке положення в просторі, а центри ваги поперечних розрізів утворюють плавну просторову лінію. Розглянемо рівновагу елемента лінії центрів поперечних розрізів під дією нормального рівномірно розподіленого по всій його довжині тиску.

Диференційне рівняння, яке описує профіль лінії центрів ваги під дією зовнішніх сил на гнучкий робочий орган, має вигляд:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{q(x + fy) + T_0 \sin \alpha_0}{q(fx - y) + T_0 \cos \alpha_0}, \quad (26)$$

де T_0 – натяг гнучкого елемента в початковій точці; α_0 – кут нахилу дотичної в початковій точці; q – питомий тиск ґрунту на робочий орган; f – коефіцієнт тертя.

Розв'язок диференційного рівняння (33) має вигляд:

$$\begin{aligned} & f \operatorname{arctg} \frac{qy(1 + f^2) + T_0(f \sin \alpha_0 - \cos \alpha_0)}{qx(1 + f^2) + T_0(\sin \alpha_0 + f \cos \alpha_0)} - \\ & - \frac{1}{2} \ln \left\{ 1 + \left[\frac{qy(1 + f^2) + T_0(f \sin \alpha_0 - \cos \alpha_0)}{qx(1 + f^2) + T_0(\sin \alpha_0 + f \cos \alpha_0)} \right]^2 \right\} - \\ & - f \operatorname{arctg} \frac{f \sin \alpha_0 - \cos \alpha_0}{\sin \alpha_0 + f \cos \alpha_0} - \ln \left[x + T_0 \frac{\sin \alpha_0 + f \cos \alpha_0}{q(1 + f^2)} \right] + \\ & + \ln \left[T_0 \frac{\sin \alpha_0 + f \cos \alpha_0}{q(1 + f^2)} \right] + \frac{1}{2} \ln \left[1 + \left(\frac{f \sin \alpha_0 - \cos \alpha_0}{\sin \alpha_0 + f \cos \alpha_0} \right)^2 \right] = 0. \end{aligned} \quad (27)$$

Натяг гнучкого елемента в різних його точках визначається рівнянням

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = \sqrt{[q(x + fy) + T_0 \sin \alpha_0]^2 + [q(fx - y) + T_0 \cos \alpha_0]^2}. \quad (28)$$

Дослідження на екстремум рівняння (28) дозволили визначити відстань між стояками кріплення гнучкого елемента в повздовжньому та поперечному напрямках.

$$l_{\text{np}} = y = \frac{T_0 (\cos \alpha_0 - f \sin \alpha_0)}{q(1 + f^2)}; \quad (29)$$

$$B_c = \frac{\sqrt{T^2 + f^2 T_0^2} - T_0 (\sin \alpha_0 + f \cos \alpha_0)}{q(1 + f^2)}. \quad (30)$$

За результатами розв'язку трансцендентного рівняння (27) з використанням співвідношень (29)...(30) було побудовано профіль гнучкого елемента, який він займає під дією опору ґрунту (рис. 7). Для розрахунків приймали $T_0 = 2000$ Н; $q = 250$ Н/м; $\alpha_0 = 45^\circ$ та $f = 0,5$. За результатами досліджень визначені: кути кріплення гнучкого елемента до переднього та заднього стояка – 81° та 45° ; довжина гнучкого елемента – 2,36 м; максимальний прогин – 0,12 м; відстань між стояками в повздовжньому та поперечному напрямках – 1,96 та 1,18 м.

При використанні ґрунтообробного робочого органу спільно з боронами, паровими та просапними культиваторами для зменшення габаритів агрегатів і спрощення їх конструкції стояки встановлюють шеренговим способом. У такому випадку робочий орган має повздовжню вісь симетрії, на якій умовно встановлюють задній стояк і при дослідженнях розглядають тільки половину гнучкого елемента.

Рис. 7. Профіль гнучкого елемента ґрунтообробного робочого органу

Профіль стояка обґрунтовано із урахуванням його мінімального опору в

Для обґрунтування профілю ґрунті.

стояка використано прямий метод

У четвертому розділі „Методика варіаційного числення Рітца. Рів- експериментальних досліджень” вказання кривої, яка описує профіль но, що метою експериментальних досліджень є перевірка достовірності результатів теоретичних досліджень,

$$z = -2\{\exp[6,5x^2(0,153 - x)] - 1\} + \text{законо-} \\ + 0,258x + 4,74x^2.$$

(31)

мірностей розподілу тиску ґрунту на поверхні ножеподібних робочих органів, вивчення процесу взаємодії з ґрунтом робочих органів ґрунтообробних машин та їх параметрів, визначення якісних та енергетичних показників роботи, польові випробування. Описано стенди та пристрої для лабораторних досліджень, а також машини для обробітку орного (рис. 8), посівного (рис. 9, 10) та поверхневого прошарків ґрунту (рис. 11). Описано методики досліджень із застосуванням сучасних методів планування експериментів. Запропоновано методику визначення закономірностей розподілу тиску ґрунту на поверхні робочого органу за допомогою апроксимації результатів експериментальних досліджень з визначенням сумарних опорів його складових.

**1 – рама; 2 – опорні
колеса; 3 – ротор;
4 – сепаруюча решітка;
5 – леміш**

**Рис. 8. Машина для
обробітку орного шару ґрунту КПП-3,2:**

**Рис. 9. Секція комбінованої машини
для передпосівного обробітку ґрунту
та сівби кукурудзи:
1 – ящик для насіння; 2 – висіваючий
апарат; 3 – ротор; 4 – сепаруюча
решітка; 5 – леміш; 6 - направляючі
диски з ребордами**

**Рис. 10. Робочі секції машини для пе-
редпосівного обробітку ґрунту під по-
сів цукрового буряку:
1 – рама; 2 – редуктор; 3 – опорні
колеса; 4 – сепаруюча решітка;
5 - ротор**

**Рис. 11. Знаряддя для
поверхневого обробітку ґрунту:
1 – рама; 2 – стійка;
3 – гнучкий елемент**

У п'ятому розділі „Експериментальні дослідження робочих органів ґрунтообробних машин” для визначення закономірностей розподілу тиску ґрунту на поверхні ножеподібного робочого органу було проведено повнофакторний експеримент. Визначався вплив глибини ходу та кута нахилу ножа на тяговий опір. Дисперсійний аналіз отриманих результатів показав, що вплив глибини ходу ножа на тяговий опір становить 97,9%, кута нахилу – 1,3%, їх парної взаємодії – 0,8%.

У результаті обробки результатів експерименту визначено закономірність розподілу проекції питомого тиску ґрунту на ножеподібному робочому органі.

$$q_x = 1,31 \cdot 10^4 z^{1,081} \sin 1,002\alpha, \quad (32)$$

де z – поточна координата осі, направленої вертикально в глибину ґрунту.

Враховуючи те, що значення показника степеневого множника близьке до одиниці, можна зробити висновок про збіг одержаних результатів експериментальних досліджень з теоретичними дослідженнями *Б.О.Нефьодова* та *М.М.Флайшера*.

При вивченні процесу взаємодії ножа розпушуючо-сепаруючого пристрою з ґрунтом останній розглядався як квазіоднорідне трифазне середовище з можливістю визначення його реологічних властивостей як комбінації властивостей простих тіл. Це дозволяло розглядати ґрунт як послідовно та паралельно з'єднані між собою ідеально пружні, в'язкі та пластичні тіла.

Процес зміщення ґрунту під дією ножа (рис. 12) можна розділити на три фази.

Рис. 12. Форма борозни після проходу ножа ротора в ґрунті (вид зверху)

У першій фазі при заглибленні ножа в ґрунт дотичні напруги не перевищують внутрішнього опору ґрунту зміщенню. У цьому випадку ґрунт веде себе як лінійно-деформоване середовище. Як тільки напруга досягає граничної рівноваги, в ґрунті починають виникати локальні пластичні деформації і перед ножом формується його нарост. У другій фазі ґрунт перебуває під дією наросту, який періодично змінюється. Цей процес триває доти, доки сили тертя наросту ґрунту по сепаруючій решітці, зчеплення з ґрунтом та опору його руху в ґрунті не забезпечать у ньому напруги, яка перевищує допустиму. З цього моменту починається третя фаза – скидання ґрунту з сепаруючої решітки.

Технологічна надійність роботи розпушуючо-сепаруючого пристрою визначається його пропускнуною спроможністю. Аналіз результатів досліджень з вивчення впливу параметрів робочих органів і вологості ґрунту на пропускну спроможність показав, що її можна підвищити, в основному, за рахунок збільшення кількості проходів ножа за одиницю часу та зменшення кута входження ножа в ґрунт.

На рис. 13 показано залежність граничної відстані між направляючими дисками, при якій починається процес заклинювання ґрунту між ними, від його вологості та глибини ходу дисків. Під час проведення сівби просапних культур вологість ґрунту становить 22...24% і тому гранична відстань між дисками при глибині їх ходу 0,06...0,09 м дорівнює 0,068...0,090 м, а при глибині ходу 0,03 м - 0,035 м. Оптимальна величина виносу осі обертання дисків мало залежить від глибини їх ходу і становить 0,04...0,05 м.

Рис. 13. Залежність граничної відстані між дисками від вологості ґрунту та глибини ходу дисків

Енергетичні показники роботи секцій комбінованої машини оцінювалися крутильним моментом привода ротора і тяговим опором машини. Середня величина крутильного моменту привода ротора з обґрунтованою формою профілю ножа менша відносно рівної – на 32%, опуклої – на 35%, угнутої – на 27%. Середній тяговий опір однієї секції машини при вологості ґрунту 20%, твердості 9,7 Н/м², швидкості руху 2,09 м/с, частоті обертання ротора 2,5 с⁻¹ і глибині ходу лемеша 0,079 м дорівнює 910 Н.

Дворічні польові випробування комбінованої машини для передпосівної підготовки ґрунту та сівби кукурудзи, в порівнянні з традиційними машинами, показали, що на експериментальній ділянці сходи з'являлися на два дні раніше, а урожай підвищувався в середньому на 9,7% порівняно з контролем. Випробування машини для підготовки ґрунту під посів цукрових буряків показали, що коефіцієнт структурності ґрунту в насінневому прошарку збільшується в 1,7 рази в порівнянні з традиційним способом. Обробіток ґрунту експериментальною машиною позитивно вплинув на накопичення та збереження вологи в ґрунті (табл. 2). Протягом усього періоду вегетаційного розвитку рослин на ділянках, оброблених експериментальною машиною, вологість ґрунту перевищувала контроль в середньому на 3...4%. Зменшення запасів вологи у вересні в порівнянні з контролем можна пояснити виносом вологи більш високим урожаєм.

Таблиця 2

Динаміка вологості в ґрунті, %

Строк спостереження	Липень				
Глибина, см	0...10	10...20	20...30	30...40	40...50
Контроль	11,3	12,8	13,6	15,8	15,6
Експериментальна ділянка	14,9	15,3	16,4	16,9	17,3
Строк спостереження	Червень				
Глибина, см	0...10	10...20	20...30	30...40	40...50
Контроль	10,9	16,1	17,9	18,4	17,8
Експериментальна ділянка	15,7	19,4	18,9	17,9	17,8
Строк спостереження	Вересень				
Глибина, см	0...10	10...20	20...30	30...40	40...50
Контроль	14,1	13,9	16,0	16,4	16,7
Експериментальна ділянка	11,6	12,8	16,1	16,2	15,3

Спостереження за динамікою появи сходів показали, що на експериментальних ділянках вони з'явилися на три-чотири дні раніше, ніж на контролі. Забур'яненість посівів у зоні обробітку ґрунту експериментальною машиною, з урахуванням строків спостереження, була на 25 - 40% нижча у порівнянні з контролем. Урожайність цукрових буряків на експериментальній ділянці приблизно на 30% перевищувала контроль.

Якісні показники роботи машини для оптимізації орного шару ґрунту визначалися при догляді за чорним паром, в порівнянні з показниками роботи парового культиватора КПС-4. Глибина обробітку ґрунту в обох варіантах становила 0,1 м. Дані про структурний склад ґрунту на двох варіантах наведені в табл. 3. Коефіцієнт структурності ґрунту після його обробітку експериментальною машиною майже у 2,5 рази перевищував контроль.

Таблиця 3

Структурний склад ґрунту в прошарку 0-10 см, %

Розміри грудочок, мм	Контроль			Експериментальний варіант		
	0...5	5...10	15...25	0...5	5...10	15...25
> 10	45,01	43,40	46,00	11,40	25,00	47,20
10...7	8,31	10,27	10,40	5,20	9,50	10,60
7...5	7,45	6,77	7,90	4,40	7,00	8,10
5...3	9,93	9,36	9,60	7,00	8,00	10,40
3...2	9,15	8,52	8,10	11,70	11,30	8,40
2...1	12,90	15,28	11,90	34,60	22,00	9,00
1...0,5	1,50	1,36	1,40	3,40	2,70	1,40
0,5...0,25	3,34	2,94	2,70	11,80	10,90	2,60
< 0,25	2,38	2,10	2,20	11,30	1,70	1,60
$K_{стр.}^*$	1,27	1,20	1,08	3,41	2,72	1,05

* коефіцієнт структурності ґрунту.

Дані про динаміку вологості ґрунту по прошарках показані в табл. 4. По всіх прошарках ґрунту на експериментальному варіанті вологість перевищувала контроль на 1...2%.

Таблиця 4

Вологість ґрунту, %

Глибина, см	Квітень		Червень	
	Контроль	Експериментальний варіант	Контроль	Експериментальний варіант
0...5	16,33	18,19	15,59	17,95

5...10	21,33	23,48	20,25	21,37
15...25	25,03	24,29	21,37	23,70
30...40	23,34	25,18	22,34	24,86

Експериментальні дослідження показали, що профіль гнучкого елемента, який він займає під дією опору ґрунту, практично співпадає з профілем, отриманим у результаті теоретичних досліджень.

Для перевірки результатів теоретичних досліджень з обґрунтуванням профілю стояка кріплення гнучкого елемента був проведений експеримент для визначення тягового опору відомого долотоподібного та обґрунтованого стояків. Останній щодо першого мав менший тяговий опір приблизно на 30%.

Вивчення впливу швидкості руху гнучкого елемента на вирівняність поверхні ґрунту показало (рис. 14), що при збільшенні швидкості до 2,5 м/с значення коефіцієнта варіації поверхні ґрунту зменшується. Це пояснюється збільшенням накопичення ґрунту перед гнучким елементом при зростанні швидкості його руху. При подальшому її зростанні вирівняність поверхні поля погіршується через збільшення розкидування ґрунту.

Рис. 14. Залежність коефіцієнта варіації поверхні поля від швидкості руху гнучкого елемента

Дослідження показали, що при збільшенні угину гнучкого елемента нерівномірність його заглиблення зростає по кривій другого порядку. Тому допустима величина угину гнучкого елемента визначається вимогами агротехніки до рівномірності глибини обробітку ґрунту та відстанню між стояками його кріплення.

Збільшення швидкості руху і зменшення кута постановки робочого органу з гнучким елементом до напрямку руху сприяє зниженню його тягового опору (рис.15).

При збільшенні швидкості руху у 5 разів його тяговий опір збільшується в 3 рази. Це пояснюється відносно малими розмірами поперечного розрізу робочого органу.

Рис. 15. Залежність питомого тягового опору гнучкого елемента від швидкості

його руху та кута постановки до напрямку руху

Якісні показники роботи експериментального робочого органу при міжрядковому обробітку посівів кукурудзи, в

порівнянні з традиційними робочими органами, наведено в табл. 5. Кількість агрономічно цінних грудок (20...1 мм) у поверхневому прошарку ґрунту при обробітку плоскоріжучими лапа-

ми-бритвами складає 32,8%, долотоподібними – 57%, експериментальним робочим органом – 82,6%.

При збільшенні швидкості руху у п'ять разів питомий опір підвищується приблизно втричі. При зменшенні кута постановки гнучкого елемента до напрямку руху знижується його тяговий опір. Для традиційних підрізаючих робочих органів різниця в аналогічних залежностях пояснюється відносно малою площею тертя гнучкого елемента.

Установлення гнучкого елемента на останньому ряду зубової борони забезпечує зниження коефіцієнта варіації мікронерівностей поверхні поля на 40...50%. Застосування на культиваторі КПС-4 робочого органу з гнучким елементом дозволяє знизити коефіцієнт варіації до 1,23 – на 80,7% в порівнянні з контролем.

Таблиця 5

Структурний склад ґрунту після його міжрядного обробітку різними типами робочих органів

Варіант обробітку ґрунту	Кількість фракцій (%)					
	> 20 мм	20...10 мм	10...5 мм	5...1 мм	1...0,25 мм	< 0,25 мм
Плоскоріжучі лапи-бритви	53,60	6,60	8,20	18,00	12,40	1,20
Долотоподібний стояк	23,10	11,20	12,25	34,20	17,50	1,75
Експериментальний робочий орган	4,20	7,40	18,30	56,90	11,60	1,60

Порівняльні польові випробування робочого органу з гнучким елементом проводилися при вирощуванні кукурудзи на силос. Експеримент складався з двох варіантів: в першому передпосівний обробіток ґрунту проводився культиватором КПС-4 із середніми зубовими боронами (контроль), в другому – тим же культиватором з гнучким елементом. Застосування гербіцидів дало можливість виключити з технології міжрядні обробітки ґрунту. У поверхневому прошарку ґрунту (до 0,05 м) коефіцієнт структурності в експериментальному варіанті був приблизно втричі більший, ніж на контролі (табл. 6).

Таблиця 6

Структурний склад ґрунту після обробітку його робочим органом з гнучким елементом

Строк	Варіант	Кількість грудок, %			Коефіцієнт структурності	Коефіцієнт водостійкості
		> 10 мм	0,25...10 мм	< 0,25 мм		
Перед сівбою	Контроль	45,0	52,6	2,38	1,27	0,60
	Експеримент	11,4	77,3	11,30	3,41	0,62
Фаза цвітіння	Контроль	28,6	55,5	15,80	1,25	0,72
	Експеримент	7,1	76,3	16,00	3,26	0,71

Щільність поверхневого прошарку ґрунту в початковий і завершальний періоди розвитку рослин в експериментальному варіанті була приблизно на 10% нижчою, ніж на контролі. Дані про динаміку вологості свідчать про те, що максимальна різниця у вологості (5...6%) припадала на період інтенсивного росту рослин. Урожайність кукурудзи на дослідних ділянках склала 581 ц/га, що перевищило її урожайність на контролі приблизно на 20%.

У шостому розділі „Удосконалення технології вирощування просапних культур” проведені дослідження для визначення шляхів зменшення негативної дії на ґрунт і рослини ходової системи інтегрального орно-просапного трактора класу 3 типу ХТЗ-121. Результати досліджень показали,

що при використанні в технології вирощування цукрових буряків трактора ХТЗ-12131 ущільнення ґрунту по слідах ходових систем у середньому на 2...3% більше у порівнянні з трактором Т-70С, а також зменшується в середньому на 4...7% урожайність в рядках біля проходів коліс трактора.

Питомий тиск ходової системи трактора ХТЗ-12131 на ґрунт складає близько 1,5 кг/см², що не дозволяє використовувати трактор у ранні весняні строки. Тому запропоновано застосовувати на тракторі широкопрофільні шини низького тиску Ф 229, що дозволить зменшити питомий тиск до рівня гусеничного трактора і навіть нижче (0,3 кг/см²). Дослідження показали, що при роботі трактора з широкопрофільними шинами ґрунт під дією його ходової частини сприяє збільшенню щільності всього на 2...4%, а залишкова деформація розповсюджується на глибину не більше 0,2 м.

Для зменшення негативного впливу ходової системи трактора на рослини при догляді за ними запропоновано розширити міжряддя, по яких переміщуються колеса при колії 2950 мм із 45 до 70 см і тому технологію вирощування цукрових буряків з такою організацією роботи агрегатів прийнято називати „колійною”.

У дослідженнях для визначення площі ущільнення запропоновано замінити визначення середньовагового ущільнення диференційним за кількістю проходів по одному і тому сліду. Результати досліджень свідчать, що при використанні традиційного 12-рядкового комплексу машин з трактором Т-70С менше 3% площі залишається без ущільнення, а при використанні

18-рядкового комплексу з трактором ХТЗ-12131 неуцільнена площа збільшується до 8%. У „колійній” технології на передпосівному обробітку ґрунту, сівбі та догляду за рослинами неуцільнена площа поля збільшується до 75%.

Упровадження у виробництво „колійної” технології вирощування цук-рових буряків сприяло зменшенню в 1,5 рази кількості проходів агрегатів по полю за рахунок збільшення ширини їх захвату та об’єднання технологічних операцій, поліпшенню умов розвитку рослин біля колій за рахунок крайового ефекту, зменшенню від 33 до 22% кількості рослин, ушкоджених ходовими системами тракторів, і можливості удосконалення технології в напрямку переведення цукрових буряків у непросапну культуру.

У **сьомому розділі** „Практична реалізація та економічна ефективність результатів досліджень” проведено впровадження результатів досліджень у виробництво і техніко-економічне їх обґрунтування. Результати теоретичних і експериментальних досліджень використані інститутом „Машин і систем” для розробки технічної документації на виготовлення ґрунтообробної машини КПр-3,2, ВАТ „ХТЗ” і Галещинський машзавод виготовили її дослідний зразок. Кіровоградським проектно-конструкторським інститутом виготовлена комбінована машина для передпосівного обробітку ґрунту і сівби кукурудзи, а на кафедрі механізації ХНАУ ім. В.В.Докучаєва – макети секцій для обробітку ґрунту під сівбу цукрових буряків.

Розрахунки техніко-економічних показників роботи машини для оптимізації орного шару ґрунту визначили, що її застосування для догляду за чорним паром дозволяє, в порівнянні з традиційними ґрунтообробними знаряддями, зменшити кількість проходів агрегатів по полю приблизно у два рази, витрати праці – на 43,8%, пального – на 44,9%, коштів – на 3,49 грн/га, річний економічний ефект на одну машину складає 1047 грн.

Застосування комбінованої машини при вирощуванні кукурудзи дозволяє зменшити, в порівнянні з використанням культиватора КПС-4 і сівалки СУПН-8, витрати праці – на 37,8%, палива – на 49,1%, коштів – на 0,84 грн/га. З урахуванням підвищення урожайності кукурудзи економічний ефект від застосування комбінованої машини складає 37,84 грн/га і 2838 грн за рік. Її використання при вирощуванні цукрових буряків забезпечує економічний ефект в розмірі 308,6 грн/га і 23145 грн за рік на одну машину.

Конструкція робочого органу з гнучким елементом не складна і його можна виготовити в умовах майстерні господарства. Використання цього органу на культиваторі КПС-4 замість зубових борін забезпечує зниження (за рахунок зменшення тягового опору) витрат праці при обробітку на 9,4%, пального – 12,5%, коштів – на 0,64 грн/га, річний економічний ефект на одне знаряддя складає 192 грн.

Розроблено рекомендації використання трактора типу ХТЗ-121 з набором високопродуктивної техніки в науково обґрунтованій технології вирощування цукрових буряків. Результати досліджень використані при складанні технічних завдань для виготовлення сівалок ССТ-18В, ССТ-18М і УПС-18 та культиватора КУН-8,1. „Колійна” технологія вирощування цукрових буряків упроваджена з 2000 р. на площі біля 1500 га в дослідному господарстві Інституту цукрових буряків „Пархомівське” Краснокутського району Харківської області з економічним ефектом 453,7 грн/га та з 2003 р. у СТОВ „Дружба” Магдалинівського району Дніпропетровської області з економічним ефектом 643,5 грн/га. Упровадження результатів досліджень у виробництво дозволило, в порівнянні з використанням традиційного комплексу машин, забезпечити економію витрат енергії на 21,8%, праці – на 44%, коштів – на 0,8%.

ВИСНОВКИ

Одною з причин малоефективного використання земельних ресурсів в Україні є застосування ґрунтообробної техніки, яка не забезпечує раціональної дії на ґрунт з точки зору досягнень сучасної агрономічної науки та еколого-економічних вимог.

Використовуючи комплексний підхід, вирішена наукова проблема зменшення енергоємності ґрунтообробних робочих органів із заданими параметрами якості обробітку ґрунту, створення еколого-економічних технологічних процесів оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту, еколого-економічного удосконалення технологій вирощування просапних культур із застосуванням інтегральних тракторів тягового класу 3.

1. Аналіз результатів досліджень сучасної агрономічної науки показав, що забезпечення вимог агротехніки та оптимізація в ґрунті агрофізичних умов створюється при диференціації орного шару за щільністю та структурним складом:

- у зоні розвитку кореневої системи щільність ґрунту повинна бути в залежності від його типу та виду сільськогосподарської культури в межах 1,0...1,3 г/см³, а в надрасінневому прошарку необхідно створити ущільнений прошарок (1,1...1,2 гсм³) для зменшення непродуктивних витрат вологи;

- в насінневому прошарку розмір грудочок повинен бути в межах 0,25...10 мм, а надрасінневому прошарку – 5...20 мм.

2. Для створення рослинам в ґрунті оптимальних агрофізичних і еколого-економічних умов робочі органи підрізаючого типу необхідно обладнати пристроєм кришіння та сепарації його за структурним складом. Створення в поверхневому шарі (до 4 см) ущільненого прошарку, а також розпушування

грунту з мінімальним його перемішуванням можливе при застосуванні робочого органу з гнучким елементом у вигляді дроту або троса.

3. Зниження на 15...30 % енергоємності обробітку ґрунту за заданими параметрами якості його проведення забезпечується удосконаленням профілів робочих органів із застосуванням методів прямого варіаційного числення. При цьому рішення задач землеробної механіки в тримірному просторі спрощується при апроксимації шуканої поверхні з використанням методу кінцевих елементів.

4. Технологічна надійність і мінімальна енергоємність розпушуючо-сепаруючих робочих органів машин для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту забезпечуються наступними параметрами:

- відстань між направляючими дисками повинна бути, в залежності від глибини ходу, не менше 0,05...0,10 м, винос осі їх обертання щодо носка лемеша – 0,04...0,05 м;

- кут входження ножа ротора в ґрунт повинен становити менше 40° ;

- профілі ножа ротора з точки зору зниження витрат енергії на привід із врахуванням зменшення можливості забивання його рослинними рештками доцільно виконувати у відповідності з рівняннями (21) і (22):

5. Покращення технологічної надійності, якості виконання технологічного процесу і зменшення енергоємності робочого органу з гнучким елементом для обробітку поверхневого прошарку ґрунту забезпечується наступними його параметрами:

- діаметр поперечного розрізу гнучкого елемента 0,03...0,05 м;

- кути, під якими гнучкий елемент кріпиться до передніх і задніх стояків, знаходяться із трансцендентного рівняння (27) і відповідно дорівнюють 81° та 45° ;

- довжина гнучкого елемента визначається з рівняння (27) і становить 2,36 м;

- відстані між стояками в повздовжньому та поперечному напрямках знаходяться з рівнянь (29) і (30) і дорівнюють, відповідно, 1,96 та 1,78 м;

- швидкість руху агрегату – до 2,5 м/с;

- профіль стояка слід виконувати у відповідності з рівнянням (31).

6. Створення в ґрунті оптимальних агрофізичних властивостей забезпечується використанням розроблених робочих органів:

- розпушуючо-сепаруючих для обробітку орного шару ґрунту, які забезпечують, в порівнянні з паровими культиваторами, підвищення коефіцієнта структурності ґрунту приблизно у 2,5 рази, збільшення вологості ґрунту на 1...2%, значне зменшення забур'яненості.

- розпушуючо-сепаруючих для обробітку насінневого шару ґрунту, які сприяють збільшенню коефіцієнта структурності в 1,7 рази, кращому накопиченню та збереженню вологи, яка перевищувала контроль на 3...4%.

- у вигляді гнучкого елемента, використання якого із зубовою бороною, паровими та просапними культиваторами сприяє поліпшенню якості кришіння ґрунту і вирівненості мікронерівностей поверхні поля у 1,5...2,0 рази.

7. У традиційних технологіях вирощування сільськогосподарських культур на передпосівному обробітку та при догляді за паром зменшення кількості проходів агрегатів по полю приблизно у два рази, а також удосконалення процесів дії на ґрунт робочих органів шляхом часткової заміни кришіння на сепарацію, що сприяє збереженню його родючості з одночасним зниженням витрат енергії, забезпечується використанням запропонованих машин для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту.

Зниження витрат праці – на 43,8%, пального – на 44,9%, економію прямих витрат в розмірі 3,49 грн на 1 га в порівнянні з традиційними знаряддями досягаються упровадженням у виробництво розробленої машини КІР-3,2, що оптимізує агрофізичні властивості орного шару ґрунту.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень використані Інститутом машин і систем для розробки дослідно-конструкторської документації, Харківським тракторним заводом і Галещинським машзаводом для виготовлення дослідного зразка машини.

Визначено, що упровадження машин для вирощування кукурудзи і цукрового буряка у виробництво дозволяє в порівнянні з традиційними комплексами машин одержати в рік на одну машину відповідно 2838 і 23145 грн. За результатами досліджень Кіровоградським проектно-конструкторським інститутом виготовлена комбінована ґрунтообробна і посівна машина для вирощування кукурудзи, а на кафедрі механізації ХНАУ ім. В.В.Докучаєва – макети секцій для підготовки ґрунту під посів цукрових буряків.

8. Зниження витрат праці на 9,4%, пального – на 12,5%, прямих витрат – на 0,64 грн/га при передпосівному обробітку ґрунту забезпечується використанням на культиваторі КПС-4 гнучкого елемента замість зубових борін. Упровадження у виробництво робочого органу з гнучким елементом малого діаметра сприяє зменшенню розпилення ґрунту, проведенню обробітку з мінімальним його перемішуванням, кращому збереженню вологи та енергії. Конструкція ґрунтообробного робочого органу з гнучким елементом не складна. Він може бути виготовлений в умовах майстерні сільськогосподарського виробництва. Експериментальний робочий орган пройшов широку перевірку в господарствах Харківської області.

9. При виконанні ранніх весняних робіт зменшення питомого тиску ходової частини трактора на ґрунт до рівня гусеничного трактора і нижче,

зменшення від 33 до 22% кількості рослин, ушкоджених ходовими системами трактора, площі ущільнення ґрунту та поліпшення їх умов розвитку за рахунок крайового ефекту, підвищення більш ніж у два рази продуктивності агрегатів на сівбі та міжрядних обробітках за рахунок збільшення ширини захвату та об'єднання технологічних операцій забезпечує „колійна” технологія вирощування цукрових буряків з використанням інтегрального орно-просапного трактора класу 3 і 18-рядкового комплексу машин.

Для забезпечення „колійної” технології засобами механізації розроблені технічні завдання для виготовлення сівалки ССТ-18М, УПС-18 та культиватора КУН-8,1. „Колійна” технологія вирощування цукрових буряків упроваджена з 2000 р. на площі близько 1500га у дослідному господарстві Інституту цукрових буряків „Пархомівське” Краснокутського району Харківської області з економічним ефектом 453,7 грн/га, з 2003 р. – у СТОВ „Дружба” Магдалинівського району Дніпропетровської області з економічним ефектом 643,5 грн/га.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. *Пащенко В.Ф.* Моделирование взаимодействия с почвой рабочих органов сельскохозяйственных машин и орудий. Монография. – Х., 1994. – 134 с.
2. *Слободюк П.И., Пащенко В.Ф., Ким В.В.* Рыхлительно-сепарирующие рабочие органы комбинированной машины // Совершенствование рабочих органов с.-х. машин: Сб науч. тр. Харьк. с.-х. ин-та. – Т. 289. – Х., 1983. – С. 3-8.
3. *Слободюк П.И., Пащенко В.Ф., Медведев В.В.* Комбинированная обработка почвы // Техника в сел. хоз-ве. – 1984. – № 3. – С. 14-15.
4. *Пащенко В.Ф., Дорожко И.Н.* О параметрах рабочих органов комбинированной машины // Совершенствование конструкций, улучшение ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники: Сб. науч. тр. Харьк. с.-х. ин-та. – Т. 312. – Х., 1985. – С. 15-19.
5. *Слободюк П.И., Пащенко В.Ф., Хливняк Г.Г. и др.* Рабочий орган для предпосевной обработки почвы в подсеменном слое // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 5. – С. 20-22.

6. *Медведев В.В., Слободюк П.И., Пащенко В.Ф.* Использование агрофизических свойств черноземов при разработке почвообрабатывающих машин // *Механизация и электрификация сельского хозяйства.* – 1987. – № 3. – С. 6-8.

7. *Слободюк П.И., Пащенко В.Ф., Нугис Э.Ю.* Прямые инструментальные наблюдения уплотнения и напряжения в почвенном профиле // *Переуплотнение пахотных почв.* – М.: Наука, 1987. – С. 14-27.

8. *Василенко П.М., Медведев В.В., Пащенко В.Ф. и др.* Комбинированная машина // *Госагропром СССР. ВНИИиТЭИ. АПК.* – № 4. – М., 1987.

9. *Слободюк П.И., Пащенко В.Ф., Медведев В.В.* Маршрутизация движения МТА // *Техника в сел. хоз-ве.* – 1987. – № 11. – С. 15-17.

10. *Евсюков Т.П., Пащенко В.Ф., Онишко М.И.* Результаты исследований процесса работы рыхлительно-сепарирующего устройства комбинированной машины // *Совершенствование конструкций рабочих органов сельскохозяйственной техники: Сб. науч. тр. Харьк. с.-х. ин-та.* – Х., 1988. – С. 11-16.

11. *Медведев В.В., Слободюк П.И., Пащенко В.Ф. и др.* Маршрутизация движения МТА для снижения переуплотнения дерново-подзолистой почвы // *Ресурсосберегающие технологии: Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ.* – Курск, 1989. – С. 43-48.

12. *Медведев В.В., Слободюк П.И., Пащенко В.Ф., Цибулько В.Г.* Проблема уплотнения почв ходовыми системами сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов и пути ее решения // *Чтобы не убывало плодородие земли.* – К.: Урожай, 1989. – С. 128-154.

13. *Медведев В.В., Слободюк П.И., Пащенко В.Ф. и др.* Механико-технологические основы оптимизации агрофизических параметров обрабатываемого слоя почвы // *Совершенствование почвообрабатывающей техники агропромышленного комплекса целинного земледелия: Сб. науч. тр. Восточного отделения ВАСХНИЛ, “Целинсельхозмеханизация”.* – Алма-Ата, 1989. – С. 43-47.

14. *Пащенко В.Ф., Онишко М.И.* Снижение энергоемкости комбинированной машины для обработки почвы и посева // *Механизация и электрификация сельского хозяйства: Сб. науч. тр. УНИИМЭСХ. Вып. 70.* – К., 1989. – С. 17-20.

15. *Пащенко В.Ф., Дорожко И.Н., Коровников И.Ф.* К обоснованию параметров рабочего органа комбинированной машины для обработки почвы и посева // *Вопросы механизации возделывания и уборки с.-х. культур: Сб. науч. тр. Харьк. с.-х. ин-та.* – Х., 1990. – С. 10-17.

16. *Пащенко В.Ф.* Моделирование процессов взаимодействия рабочих органов машин и орудий с почвой // *Материалы симпозиума по земледель-*

ческой механике. – Плоцк, 1991.

17. *Пащенко В.Ф.* О методике обоснования профиля поверхности почвообрабатывающих органов // Совершенствование технологического процесса и конструкций рабочих органов сельскохозяйственной техники: Сб. науч. тр. Харьк. гос. аграр. ун-та. – Х., 1992. – С. 4-9.

18. *Пащенко В.Ф., Мацибурко Н.Г.* Моделювання процесів взаємодії клина з ґрунтом // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвід. тем. наук. зб. – 1997. – № 82. – С. 29-32.

19. *Пащенко В.Ф.* Моделирование взаимодействия с почвой рабочего органа с гибким элементом // Технология производства и конструирование сельскохозяйственных машин: Сб. науч. тр. Харьк. гос. аграр. ун-та. – Х., 1997. – С. 12-22.

20. *Пащенко В.Ф., Дорожко І.М., Гусаренко М.П та ін.* Дослідження трактора ХТЗ–120/121 при обробітку цукрових буряків // Сільськогосподарська техніка України. – 1997. – № 1. – С. 3-4.

21. *Пащенко В.Ф.* Тракторы ХТЗ в современных технологиях возделывания пропашных культур // Тракторная энергетика в растениеводстве: Сб науч. тр. ХГТУСХ. – Х., 1998. – С. 299-303.

22. *Пащенко В.Ф., Буденный Ю.В., Шевченко Н.В.* Способы основной обработки почвы под посев озимой пшеницы // Техника АПК. – 1999. – № 6-7. – С. 48-49.

23. *Корнієнко С.І., Пащенко В.Ф., Федоряка М.Ф.* Харківська технологія виробництва цукрових буряків // Пропозиція. – 2001. - № 5. – С. 96-97.

24. *Роїк М.В., Мазуренко А.М., Гудзь С.П., Пащенко В.Ф. та ін.* Переваги використання енергонасичених тракторів // Пропозиція. – 2001. - № 5. – С. 12-13.

25. *Пащенко В.Ф.* Обґрунтування профілю ножа машини для створення оптимальних фізико-механічних властивостей орного шару ґрунту // Вісник Сум. держ. аграр. ун-ту: Наук.-метод. журнал. – Вип. № 7. – 2001. – С. 140-145.

26. *Пащенко В.Ф., Кармазин В.И.* Обоснование профиля лемеха ножа ротора комбинированной машины // Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник Харк. держ. техн. ун-ту с. г. – Вип. 23. – Х., 2004. – С. 19-24.

27. А.с. 1069649 СССР. Почвообрабатывающее орудие / *В.Ф.Пащенко, В.В.Медведев, П.И.Слободюк и др.* // Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1984. – № 4.

28. А.с. 1077588 СССР. Орудие для обработки почвы и посева / *В.В.Медведев, П.И.Слободюк, В.Ф.Пащенко и др.*// Открытия, изобретения,

промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1984. – Бюл. № 9.

29. А.с. 1158063 СССР. Орудие для обработки почвы и посева / *В.Ф.Пащенко, В.В.Медведев, П.И.Слободюк и др.*// Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1984. – Бюл. №20.

30. А.с. 1168116 СССР. Орудие для обработки почвы и посева / *П.М.Василенко, В.В.Медведев, П.И.Слободюк, В.Ф.Пащенко и др.*// Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1985. – Бюл. № 27.

31. А.с. 1202499 СССР. Орудие для обработки почвы и посева / *В.В.Медведев, П.И.Слободюк, В.Ф.Пащенко и др.*// Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1986. – Бюл. № 1.

32. А.с. 1218943 СССР. Почвообрабатывающее орудие / *В.В.Медведев, В.Ф.Пащенко, П.И.Слободюк, и др.*// Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1986. – Бюл. № 11.

33. А.с. 1386063 СССР. Комбинированная машина для обработки почвы и посева / *В.В.Медведев, П.И.Слободюк, В.Ф.Пащенко и др.*// Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1988. – Бюл. № 13.

34. А.с. 1498412 СССР. Способ внесения семян в почву и устройство для его осуществления / *В.Ф.Пащенко, П.И.Слободюк, И.Н.Дорожко и др.*// Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки: Офиц. бюл. Госкомизобретений ЦНИИПИ. – 1989. – Бюл. № 29.

35. Патент України. Спосіб внесення насіння в ґрунт та пристрій для його здійснення / *В.Ф.Пащенко, І.М.Дорожко, П.І.Слободюк та ін.* (Україна). – Опубл. 30.09.1996. – Бюл. № 3.

36. Патент України 8738, А01В13/16, А01В35/03. Спосіб обробітку ґрунту та пристрій для його здійснення / *В.В. Медведєв, В.Ф.Пащенко та ін.* (Україна). – Опубл. 30.09.1996. – Бюл. № 3.

37. Патент України 8739, А01В49/06. Зброя для обробітку ґрунту та посіву / *В.В. Медведєв, П.І.Слободюк, В.Ф.Пащенко та ін.* (Україна). – Опубл. 30.09.1996. – Бюл. № 3.

38. Патент України 19584, А01В49/02. Орудие для обработки почвы / *М.Е.Тернюк, В.Ф.Пащенко, В.В.Медведев* (Україна). – Опубл. 25.12.1997. – Бюл. № 6.

39. Методические рекомендации по изучению маршрутизации движения МТА при возделывании сельскохозяйственных культур с целью умень-

шення площі ущільнення полів / Сост.: *В.В.Медведев, П.И.Слободюк, В.Ф.Пащенко*. (ВАСХНИЛ). – М., 1984. – 11 с.

40. Методики прогнозування передрапорженности почв к ущільнющому впливу машинно-тракторних агрегатів // Переущільнення пахотних почв / *В.В.Медведев, А.Г.Бондарев, П.И.Слободюк, В.Ф.Пащенко, Т.Н.Лактионова*. – М.: Наука, 1987. – С. 194-198.

41. *Медведев В.В., Слободюк П.И., Пащенко В.Ф.* Результати польових випробувань комбінорованої машини для обробки почви і посєва // Пути розвитку механізації виробництва зерна в Української ССР: Тез. докл. на-уч.-техн. конф. – Глеваха, 1988. – С. 61-62.

42. Научно обоснованная система земледелия Харьковской области: Монография / Госагропром УССР. – Х., 1988. – 347 с. (коллектив авторов 59 человек).

43. *Медведев В.В., Пащенко В.Ф. и др.* Комбінорованная почвообрабатывающая и посєвная машина // Тез. Всесоюз. совещания по механизации обработки почв. – Волгоград, 1990. – С. 21.

44. *Роїк М.В., Мазуренко А.М., Гудзь С.П., Абдула С.Л., Пащенко В.Ф., Корнієнко С.І.* Переваги використання енергонасичених тракторів // Цукрові буряки. – 1998. – № 5. – С. 12-13.

45. *Пащенко В.Ф.* Машина для оптимізації агрофізичних властивостей ґрунту // Вісник ХДАУ. Серія „ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство”. – 1998. – № 2. – Х.: С. 98-102.

46. *Медведев В.В., Пащенко В.Ф., Ліндіна Т.Є.* Технологія вирощування цукрових буряків в умовах Лісостепу України // Розробник – виробництву / УААН. – К: Аграр. наука, 1999. – С. 29-30.

47. *Медведев В.В., Пащенко В.Ф., Гусаренко М.П. та ін.* Сільськогосподарське знаряддя для передпосівного обробітку ґрунту та внесення рідких мінеральних добрив при вирощуванні різних ярих культур // Розробник – виробництву / УААН. – К: Аграр. наука, 1999. – С. 27-28.

48. *Медведев В.В., Пащенко В.Ф.* Комбінована машина для оптимізації посівного шару ґрунту, внесення добрив і посіву // Розробник – виробництву / УААН. – К: Аграр. наука, 1999. – С. 33-34.

49. *Медведев В.В., Пащенко В.Ф. и др.* Эффективность нулевой обработки почвы с применением гербицидов раундап и харнес // Земледелие. – 1999. – № 2. – С. 32-33.

50. *Пащенко В.Ф., Шиян В.Й.* Порівняльна ефективність використання тракторів загального призначення виробництва різних країн // Пропозиція. – 2000. – № 12. С. 100-101.

51. Система ведення сільського господарства Харківської області та наукове супроводження „Комплексної програми розвитку сільського госпо-

дарства Харківської області у 2001-2005 роках та на період до 2010 року”. – Х., 2001. – 286 с. (колектив авторів 103 особи).

52. Тодоров П.П., Роїк М.В., Пащенко В.Ф. та ін. Інтенсивні технології вирощування і збирання цукрових буряків з використанням тракторів типу ХТЗ-16131 ВАТ „ХТЗ” // Автомобіле- та тракторобудування: Вісник НТУ „ХПІ”. Зб. наук. пр. – Х: НТУ „ХПІ”. – 2004. – №16, С.105-112.

АНОТАЦІЯ

Пащенко В.Ф. Механіко-технологічні засоби еколого-економічного удосконалення процесів обробітку ґрунту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за фахом 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. ХНТУСГ імені Петра Василенка. – Харків, 2005.

Дисертаційна робота направлена на розв’язання науково-технічної проблеми підвищення еколого-економічної ефективності вирощування сільськогосподарських культур шляхом зменшення витрат енергії на обробіток ґрунту та зниження негативної дії на нього засобів механізації.

Створено теорію математичного моделювання процесів взаємодії з ґрунтом робочих органів на основі використання прямих методів варіаційного числення для рішення задач землеробної механіки у дво- і тримірних просторах для визначення їх раціональних профілів з точки зору мінімальної енергоємності при заданих параметрах якості обробітку.

Розроблено засоби еколого-економічного обробітку ґрунту, які за один прохід забезпечують створення у ньому оптимальних агрофізичних властивостей для проростання насіння та розвитку рослин. Визначені якісні й енергетичні показники машин із запропонованими робочими органами.

Визначені методи еколого-економічного удосконалення технології вирощування просапних культур з використанням колісних тракторів класу 3 т і високопродуктивних сільськогосподарських машин і знарядь.

Ключові слова: механіко-технологічні засоби, еколого-економічне обґрунтування, технологічний процес, ґрунтообробна техніка, структурний склад ґрунту, щільність ґрунту.

АННОТАЦИЯ

Пащенко В.Ф. Механико-технологические средства эколого-экономического совершенствования процессов обработки почвы. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйст-

венного производства. – Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко. – Харьков, 2005.

Диссертационная работа направлена на решение научно-технической проблемы увеличения эколого-экономической эффективности возделывания сельскохозяйственных культур путем снижения затрат энергии на обработку почвы и снижение отрицательного воздействия на нее средств механизации.

Создана теория математического моделирования процессов взаимодействия с почвой рабочих органов на основании использования прямых методов вариационного исчисления для решения задач земледельческой механики в дву- и трехмерных пространствах по изысканию их рациональных профилей с точки зрения минимализации энергоемкости при заданных параметрах качества обработки.

Разработаны средства эколого-экономичной обработки почвы, которые за один проход обеспечивают создание в ней оптимальных агрофизических свойств для прорастания семян и развития растений. Принцип работы почвообрабатывающих рабочих органов для обработки пахотного и посевного слоев почвы основан на совмещении операций ее крошения и сепарации по глубине обрабатываемого слоя почвы. Наряду с получением за один проход агрегата требуемого качества обработки почвы в результате ее сепарации обеспечивается перемещение семян сорных растений на глубину, снижающую их всхожесть и выброс корневищ, в том числе и корнеотпрысковых сорных растений, на поверхность поля. Все это позволяет улучшить очистку поля от сорных растений механическим способом.

Для создания оптимальных агрофизических свойств поверхностного слоя почвы (0...4 см) путем его рыхления с минимальным перемешиванием, образованием уплотненной прослойки и выравниванием микронеровностей поверхности поля разработан рабочий орган с гибким элементом. Последний может быть использован как самостоятельно, так и в сочетании с зубовыми боронами, паровыми и пропашными культиваторами.

Определены качественные и энергетические показатели машин с предложенными рабочими органами.

Разработаны методы эколого-экономичного совершенствования технологии возделывания пропашных культур с использованием колесных тракторов класса 3 т и высокопроизводительных машин и орудий.

Ключевые слова: механико-технологические средства, эколого-экономичное обоснование, технологический процесс, почвообрабатывающая техника, структурный состав почвы, плотность почвы.

SUMMARY

Pashenko V.F. Mechanical – technological meanings of economical improvement of soil (land) cultivation. – Manuscript.

Hand written dissertation for gaining the scientific level of the doctor of technical sciences according to speciality 05.05.11. – machines and mechanisms of agricultural production.- Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko, Kharkiv, 2005.

This work- papers are goald in to solving scientifically – technical task in increasing ecologicaly – economical result of cultivation the land the land and descending the negative influence of mechanization on it.

The theory of mathematics modeling of the processes of collaborating with soil of the working parts of basis of using direct methods of variation counting for solving tasks of agricultural mechanization in double or triple – spaces in finding their rational profiles from the point of view of minimizing the powerconsist within chosen limits of soil cultivation.

Constructed meanings of ecologicaly-economical cultivation of soil provide creating the optimal agrophysical features, for seeds growing and plants developoing at one step. The quality and eneroectical information of machines were defenitly made with offered working.

The methods of ecologicaly – economical improving of cultivation technology of plants with using the wheel tractors of 3 class highly powered machines and mechanisms were made.

Key words: technology, mechanically, ecologicaly – economic basis (background), powerprovision, technological process, land cultivational mechanisms structural ingredients of soil.

Комп'ютерний набір і верстка Марута Г.В.

Підписано до друку 21.09.2005. Формат 60x84/16. Гарнітура Таймс.
Друк офсетний. Обсяг 2,0 ум.-друк. арк., 2,0 обл.-вид. арк. Тираж 100.
Замовлення

Редакційно-видавничий відділ Харківського національного аграрного
університету ім. В.В.Докучаєва. 62483, Харківська обл., п/в „Комуніст-1”,
навчальне містечко, тел. 99-72-70; e-mail: admin @ agrouniver. Kharkov. com.

Дільниця оперативного друку ХНАУ, тел. 99-77-80.