

НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ДУБРОВІН Валерій Олександрович



**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ
ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ
ОРАНКИ**

05.20.01 - Механізація сільськогосподарського
виробництва

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

КИЇВ - 1997

639.124

ДВ.36.766

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті **ЛННБ України ім.В.Стефаника**
сільського господарства України



Науковий консультант - **00760933 (S)**

доктор технічних наук
академік Української академії
аграрних наук

НАГОРНИЙ Микола Никифорович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент Української
академії аграрних наук
КУШНАРЬОВ Артур Сергійович;

доктор сільськогосподарських
наук, професор
ГЛУХОВСЬКИЙ Владислав
Станіславович;

доктор технічних наук, професор
КОРАБЕЛЬСЬКИЙ Валерій Іванович

Провідна установа: Кіровоградський інститут сільськогосподарського машинобудування

Захист дисертації відбудеться "20" листопада 1997 р.
о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.05.04
при Національному аграрному університеті за адресою: м. Київ,
вул. Героїв оборони, 15, учбовий корпус 3, аудиторія 65. Просимо
взяти участь в обговоренні дисертації під час її захисту або
надіслати відгук на автореферат в двох примірниках, завірений
печаткою, на адресу: 252041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15,
сектор захисту дисертацій.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці
Національного аграрного університету.

Автореферат розісланий "10" січня 1997 року.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук, доцент

ГРЕЧКОСІЙ В.Д.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Інтенсифікація аграрного виробництва спонукає вирішувати питання основного обробітку ґрунту комплексно, з врахуванням усіх вагомих факторів, для повного задоволення потреб вирощуваних сільськогосподарських культур.

За прогнозами вчених, в 2000 році відвальна оранка на Україні буде здійснюватися на 50...60% посівних площ. Зменшення питомої ваги оранки серед відомих способів основного обробітку ґрунту майже в 2 рази зумовлене її високою енергомісткістю (до 30 кг/га пального), швидким прогресом неполицевих способів обробітку ґрунту, значним поширенням хімічних засобів боротьби з бур'янами, шкідниками, хворобами с.-г. культур. Традиційна система основного обробітку ґрунту, що базувалась на переважному (до 100%) застосуванні ґрунтообробних засобів полицевого типу, зазнає істотних змін. Оскільки вплив фактора оранки на врожайність с.-г. культур вагомий (18-25%), напрямок змін повинен бути науково обґрунтованим, а процес їх перебігу — керованим.

Планування перетворень в цій галузі, розробка концепції її розвитку — актуальне питання сучасності. Реалізацією цієї концепції може стати система взаємопов'язаних технологічних процесів і засобів механізації оранки, тобто плугів нового сімейства та схем їх агрегування з основними класами тракторів, з врахуванням умов роботи і вимог сільськогосподарських культур в усіх зонах України.

Основу нового сімейства засобів механізації оранки можуть скласти ярусні плуги, які характеризуються високою якістю обробітку ґрунту і все ширше застосовуються в господарствах.

Розширення номенклатури сільськогосподарських тракторів, особливо в малих класах тягового зусилля, спонукає до створення одно-, двох-, трьохкорпусних плугів різних типів, які повинні забезпечувати потреби городників, фермерів та інших виробників с.-г. продукції на невеликих за розмірами полях.

Серед багатьох тенденцій в розвитку засобів механізації відвального обробітку ґрунту на Україні існує основна, узагальнююча — перехід до диференційованого (в залежності від багатьох факторів) механізованого відвального обробітку ґрунту, при застосуванні його в системі сівозміни. Вона потребує наукового обґрунтування та реалізації в плугах нового сімейства.

Дальший розвиток технології і засобів механізації оранки в напрямку задоволення агротехнічних вимог з боку с.-г. культур в різноманітних умовах застосування, в напрямку збереження ро-

дючості ґрунту, його захисту та забезпечення відповідних кондицій екологічної безпеки, виявляється неможливим без науково обґрунтованого переходу до нового покоління плугів.

Дослідження, що склали основу дисертаційної роботи, виконувались в Інституті механізації та електрифікації сільського господарства УААН в 1980-1996рр. відповідно до тематичних планів НДР згідно з науково-технічними програмами 051.12, 0.СХ.71, "Цукор", "Продовольство - 95" (проект "Система машин") у співдружності з Інститутами цукрових буряків, кукурудзи, землеробства, ВІМ, ПФ ВІСГОМ, ГСКТЬ "Ґрунтоташ", УкрЦВТ, ВО "ХТЗ", АТ "Кам'янець-Подільськсільмаш", іншими МВС, науково-дослідними і дослідно-конструкторськими організаціями.

Об'єкти досліджень — технологічні процеси та засоби механізації відвального обробітку ґрунту, включаючи конструктивно-технологічні параметри робочих органів і плугів різних типів, компоновальні схеми та схеми агрегування плугів з тракторами основних класів тяги, система засобів механізації оранки.

Мета досліджень — підвищення ефективності вирощування с.-г. культур в умовах інтенсивного землеробства шляхом системної розробки та вдосконалення засобів механізації оранки.

Завдання досліджень:

1. Провести системний аналіз технологічних процесів і засобів механізації оранки та розробити наукову концепцію їх розвитку в умовах інтенсифікації землеробства України.
2. Виконати теоретичні та експериментальні дослідження для визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів робочих органів плугів різних типів для їх диференційного застосування під певні групи вирощуваних культур.
3. Розробити науково-методичні основи аналітичної оцінки орних агрегатів та опрацювати на принципах диференціації раціональні схеми агрегування плугів різних типів з тракторами класів 0,6-5.
4. Обґрунтувати диференційну систему засобів механізації відвального обробітку ґрунту, визначити ефективність та умови застосування її складових елементів.
5. Здійснити науково-виробничу перевірку та впровадження розроблених робочих органів, плугів і орних агрегатів.

Методика досліджень. В основу досліджень покладено методи землеробської механіки, зокрема аналіз умов виконання оранки, механіко-технологічне обґрунтування процесів і параметрів засобів механізації відвального обробітку ґрунту, графо-аналітичне дослідження схем агрегування, експериментальні лабораторні та лабораторно-польові дослідження орних

агрегатів, науково-виробничу перевірку розроблених технологічних процесів та плугів. Вибір та обґрунтування перспективних технологічних процесів оранки та диференційної системи засобів механізації відвального обробітку ґрунту проведено з застосуванням методів системного аналізу. В експериментальних дослідженнях користувались плануванням експерименту, методикою польового досліду та статистичною обробкою даних з допомогою ЕОМ. Відповідно до вирішуваних завдань проводили дисперсійний, кореляційний та регресивний аналіз первісних матеріалів. Лабораторно-польові дослідження та науково-виробничу перевірку здійснювали за стандартними методиками випробування с.-г. техніки (ОСТ 70.2.2-73, ОСТ 70.4.1-80, ОСТ 70.4.2-80), а також окремими методиками УкрЦВТ, ПФ ВІСГОМ, ВІМ.

Розроблено спеціальні методики оцінки схем агрегування плугів з тракторами, змін вирівняності поверхні поля після оранки і в процесі усадки ґрунту; уточнено методики профілювання поверхні та визначення глибини оранки. Підготовано відповідні програми для розрахунків на ЕОМ.

Для проведення експериментальних досліджень створено лабораторно-польові установки, спеціальні пристосування, обладнано тензовісі і тензостійки.

Польові досліді по визначенню ефективності технологічних процесів, робочих органів та плугів проведено в Київській, Дніпропетровській, Вінницькій областях, а науково-виробничу перевірку нових засобів механізації оранки — в більшості областей України на базі НВО "Еліта" та передових господарств.

Наукова новизна. На підставі системного аналізу стану галузі механізації обробітку ґрунту, закономірностей і тенденцій її розвитку розроблено механіко-технологічні та методичні основи вдосконалення засобів механізації оранки. Обґрунтовано диференційну систему, що передбачає вибіркове застосування плугів різних типів в залежності від впливових чинників і обмежень, та забезпечує підвищення ефективності вирощування с.-г. культур внаслідок поліпшення якості роботи орних агрегатів при переході від однотипної оранки плугами загального призначення до цільової оранки адаптованими до умов засобами механізації. Запропоновані методологічні принципи дозволяють розробляти подібні системи засобів механізації обробітку ґрунту під задані умови і вимоги.

Компонентами наукової новизни виступають:

- розробка концептуальних положень системного вдосконалення засобів механізації оранки в умовах інтенсивного землеробства України;

- обґрунтування механіко-технологічних моделей процесів та окремих конструктивно-технологічних параметрів плугів і агрегатів для ярусної оранки, лемішного лущення та оранки з поглибленням орного шару ґрунту, з врахуванням особливостей агрегування;
- розкриття закономірностей впливу параметрів орних агрегатів на стійкість руху та тяговий опір плугів різних типів; розробка методичних основ аналітичної оцінки орних агрегатів;
- встановлення залежностей показників якості та енергомісткості роботи орних агрегатів від конструктивно-технологічних параметрів ярусного плуга та їх оптимізація за допомогою комплексного критерію;
- результати експериментальної оцінки агротехнічної та енергетичної ефективності нових розроблених засобів механізації оранки;
- обґрунтування оригінальних технологічних і технічних рішень при конструюванні плугів (ярусних, лущильників, розпушувачів комбінованих) та їх робочих органів (лемішно-полицевих поверхонь корпусів та кутознімів), які захищено 15 пріоритето-охоронними свідоцтвами (№№ 1090272, 1165244, 1172459, 1396978, 1407413, 1454275, 1473725, 1662365, 2025914, 2025915, 93006547 та іншими).

Реалізація та практична цінність результатів досліджень.

В результаті виконаних досліджень розроблено і впроваджено:

- диференційну систему засобів механізації відвального обробітку ґрунту в умовах України, що передбачає використання перспективних плугів (ярусних, оборотних, розпушувачів комбінованих і лущильників), з допомогою яких реалізується 52 варіанти відвального обробітку ґрунту під основні групи с.-г. культур, що дозволяє підвищити ефективність їх вирощування завдяки кращому задоволенню потреб при виконанні оранки за принципом "на замовлення" і в цілому підняти рівень культури основного обробітку ґрунту;
- вдосконалені технологічні процеси ярусної оранки, лемішного лущення, оранки з поглибленням орного шару ґрунту (включені до інтенсивних технологій вирощування цукрових буряків, кукурудзи, соняшнику, картоплі, овочів, льону-довгунця та інших с.-г. культур), які дозволяють на 55...61% зменшити засміченість посівів бур'янами, на 6...11% підвищити врожайність просапних с.-г. культур, ефективно вирішити проблему збереження родючості ґрунтів шляхом високоякісного заорювання рослинних решток попередників (до 10

т/га), сидератів та органічних добрив (до 100 т/га);

- вихідну науково-технічну документацію на плуги ярусні (до тракторів класу 0,6-5), плуги розпушувачі комбіновані (до 3-5), оборотні плуги (кл. 3), плуги-луцильники (кл. 1,4), що обумовлює основні конструктивно-технологічні параметри і техніко-економічні показники роботи засобів механізації відвального обробітку ґрунту, включених до "Національної програми ...", затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України № 536 від 16.09.1992 року (том 2, стор. 270, позиції 2—4); яка стала науково-технічною основою при розробці 27 найменувань плугів, 12 з яких виробляються серійно АТ "Одеський завод с.-г. машинобудування" та АТ "Кам'янець-Подільськсільмаш". Загальний випуск розроблених плугів складає понад 17 тисяч штук, що становить 15...20% діючого на Україні парку;
- раціональні схеми агрегування плугів з тракторами класів 0,6—5, погоджені з ВО "ХТЗ", які за умов врівноваженого руху орних агрегатів зменшують їх питому енергомісткість (зокрема, при ярусній оранці на 9...32%), підвищують продуктивність роботи плугів (ярусних — на 27...33%, оборотних — на 16...20%, луцильників — на 13...50%) залежно від режиму, умов виконання оранки та комплектації агрегатів;
- науково-методичні рекомендації з питань ефективного впровадження вдосконалених технологічних процесів оранки, робочих органів, плугів та схем їх агрегування з тракторами в умовах сучасного інтенсивного землеробства, розповсюджені в усіх областях України, що створює передумови для цілеспрямованого підвищення якості оранки та скорочення щорічних обсягів її виконання до 60...50% посівних площ.

Підтверджений річний економічний ефект від впровадження нових засобів механізації відвального обробітку ґрунту складає 7,4 млн. крб. в цінах 1990 року.

Апробація результатів досліджень. Дисертаційну роботу обговорено і схвалено в 1995 році на розширеному засіданні відділу механізації вирощування польових культур ІМЕСГ УААН. Окремі результати досліджень доповідались на вченій раді ІМЕСГ УААН (1981-1995), об'єднаних науково-технічних радах при ПВ ВАСГНІЛ (1982,1983), УААН (1994), Держкомсільгосптехніці СРСР (1983, 1985, 1987-1989), науково-технічних радах ГСКТБ "Одесаґрунтмаш" (1987, 1988, 1995), АТ "Кам'янець-Подільськсільмаш" (1992-1995), конференціях та семінарах в ІМЕСГ УААН (1982, 1994), Інституті економіки УААН (1982), УкрНДІСГОМ (1986), УСГА (1988), Інституті зернового

господарства УААН (1996), Подільський аграрно-технічній академії (1996), УкрЦВТ (1996), НАУ (1996), що відбувались в містах Києві, Дніпропетровську, Москві, Одесі, Кам'янець-Подільському, Харкові.

Конструктивні розробки макетних зразків плугів (ярусних, розпушувачів комбінованих, луцильників, оборотних) та змінних робочих органів до них здійснено спільно з ДКТБ ІМЕСГ, ГСКТБ "Грунтомаш", ВГК "Кам'янець-Подільськмаш", ВІМ, ПФ ВІСГОМ, СКБ "Алтайсільмаш".

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, основних висновків і пропозицій, списку літератури з 222 найменувань, у тому числі 24 - на іноземних мовах, а також додатків.

Дисертація включає 329 сторінок машинопису, 55 таблиць, 98 рисунків.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 50 працях, у тому числі - 1 монографії, 15 пріорітетно-охоронних свідоцтвах. Загальний обсяг опублікованих робіт складає 22 друкованих аркушів.

На захист виносяться результати досліджень, одержані особисто автором:

- механіко-технологічні основи диференційної системи засобів механізації оранки;
- обґрунтування вдосконалених технологічних процесів оранки, раціональних параметрів окремих робочих органів (плужних корпусів, лемішно-полицевих поверхонь) та технологічних схем плугів (ярусних, розпушувачів комбінованих, луцильників);
- методичні основи аналітичної оцінки орних агрегатів та раціональні схеми агрегування плугів різних типів з тракторами класів 0,6-5;
- аналітичні та емпіричні залежності, що характеризують вплив конструктивно-технологічних параметрів плугів і орних агрегатів на показники якості та енергомісткості оранки;
- науково-обґрунтована структура нового сімейства плугів, з урахуванням особливостей їх агрегування;
- результати експериментальної оцінки ефективності вдосконалених технологічних процесів оранки, змінних робочих органів, плугів та орних агрегатів.

ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі "Стан проблеми та завдання досліджень" проведено аналіз умов застосування оранки. З'ясовано основні впливові фактори, що обумовлюють необхідність диференціації засобів механізації оранки. Найбільш поширені на Україні с.-г. культури розподілено на дві технологічні групи в залежності від глибини залягання коренів. Враховано ґрунтово-кліматичні умови; технологічні властивості ґрунтів, с.-г. культур, агрофону; особливості боротьби з бур'янами, шкідниками, хворобами; технічні допуски і можливості.

У відповідності з розробленою структурою впливових факторів, на основі функціональних завдань оранки, висвітлених в наукових працях Бахтіна П.У., Вернадського В.І., Вільямса В.Р., Докучаєва В.В., Зубенка В.Ф., Ковди В.А., Кондратюка В.П., Крутя А.М., Сдобнікова С.С., Собка О.О., Хвилі К.С., формалізовано вимоги до оранки під технологічні групи культур. Під I групу с.-г. культур (озимі та ярі зернові колосові, багаторічні трави, зернобобові, круп'яні, льон-довгунець) оранку необхідно виконувати на глибину 12...22см, з 75% розпушенням ґрунту, загортанням 95% рослинних решток й гребінчастістю поверхні до 5см. Під II технологічну групу (кукурудза, цукрові буряки, соняшник, картопля, овочі) глибина оранки повинна складати 25...35см, загортання рослинних решток - бути повним (100%) на глибину не менше 15см, при однакових з I групою вимогах до розпушення і гребінчастості.

На основі сучасних вимог агротехніки, спираючись на науково-методичну базу, створену працями Василенка П.М., Глуховського В.С., Корабельського В.І., Кушнарьова А.С., Лінника М.К., Нагорного М.Н., Пабата І.А., Панченка А.М., Погоріло-го Л.В., Тарарико О.Г., систематизовано існуючі дані й визначено перспективні технологічні процеси оранки. Під с.-г. культури I групи - це мілка оранка плужним корпусом з крутознімом, а під культури II групи - глибока ярусна оранка (комплексний коефіцієнт перспективності - 0,87) або оранка з поглибленням (полицево-чизельний чи полицево-плоскорізний обробіток) - при недостатній потужності родючого шару ґрунту тощо. Плужний обробіток загального призначення ще досить довго буде лишатись в системі відвального обробітку ґрунту, найбільш досконалим його представником можна вважати гладку оранку, що здійснюється оборотними (рідко фронтальними) плугами.

Таким чином, сформовано шлях вирішення проблеми підвищення якості оранки та ефективності вирощування с.-г. культур, який полягає в удосконаленні засобів механізації оранки, адаптації їх до сучасних умов і вимог, підвищенні ефективності їх використання. На основі проведених аналізу стану проблеми та вибору перспективних техпроцесів оранки розроблено концепцію розвитку засобів механізованого відвального обробітку ґрунту в умовах України. Її головна суть полягає в поступовому переході від однотипної оранки загального призначення (понад 90% посівних площ в 1980 році) до певної системи перспективних технологічних процесів оранки, які повинні застосовуватись диференційно — у відповідності з конкретними умовами. Концепція розвитку передбачає розробку і впровадження в аграрне виробництво нових (менш енергомістких) орних агрегатів на базі тракторів класів 0,6-5 та нового сімейства плугів (ярусних, розпушувачів комбінованих, луцильників і оборотних), гіпотетичну структуру якого наведено на рис. 1.

У другому розділі "Обґрунтування вдосконалених технологічних процесів оранки та конструктивно-технологічних параметрів робочих органів плугів" розглянуто блок механіко-технологічних досліджень, спрямованих на вирішення проблеми якості оранки. Спираючись на основи теорії плуга, розроблені Бурченком П.М., Горячкіним В.П., Гячевим Л.В., Желіговським В.О., Лурьє А.Б., Мілюткіним В.О., Пановим І.М., Рудаковим Г.М., Сакуном В.О., Синєоковим Г.М., Тураєвим Л.Д., Хорошиловим О.Д., Чикаліки Г.М., Шаліним П.В. та їх послідовниками, проаналізовано перспективні технологічні процеси ярусної оранки та оранки з поглибленням орного шару ґрунту, параметри компоновочних схем та робочих органів плугів (ярусних, луцильників, розпушувачів комбінованих).

Особливу роль в забезпеченні високої якості ярусної оранки (рис. 2 а, б) відіграє верхній корпус. Працюючи з верхнім (12 ... 22 см) шаром ґрунту, він стикається зі значною (до 100 ц/га) кількістю рослинних решток, сприймає нерівності поверхні поля ($\sigma \geq 1,0$ см) і відповідає за точність укладки скиби на дно борозни. Зважаючи на вагомість чинника глибини загортання рослинних решток ($q_h = 0,46$), найбільш прийнятною для верхнього корпусу визначено напівгвинтову лемішно-полицеву поверхню обертаючого типу. Умовно рух скиби при її взаємодії з поверхнею корпусу та після сходу з неї в поперечно-вертикальній площині проєкції можна характеризувати рухом частки скиби,

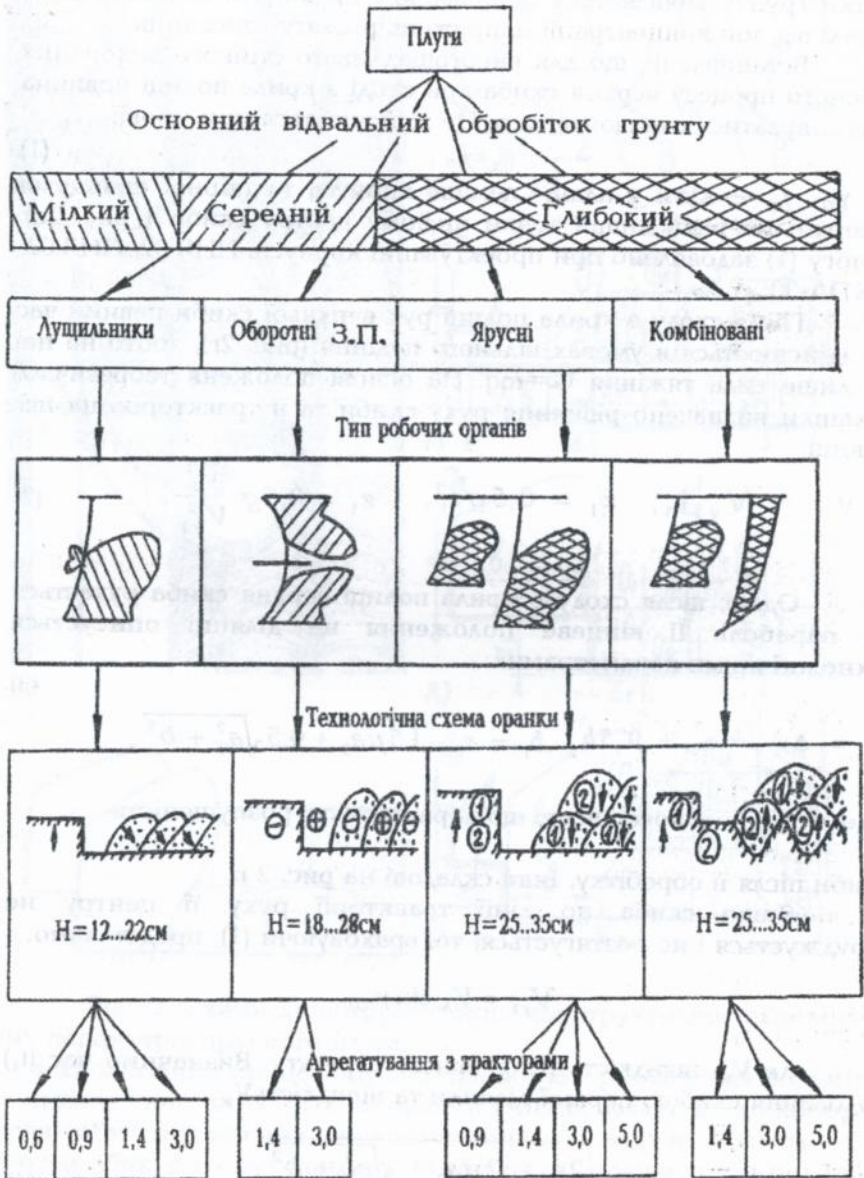


Рис. 1. Перспективна структура сімейства плугів

розміщеної в центрі її поперечного перерізу. Траєкторія руху цієї частки ґрунту виявляється стабільною і проходить на найбільшій віддалі від зон концентрації напружень розтягу-стискання.

Встановлено, що для енергощадливого стійкого виконання робочого процесу верхня скиба при сході з крила полиці повинна спрямовуватись горизонтально. Це здійснюється при умові:

$$\gamma_{\text{п}} = \gamma_{02}, \quad (1)$$

де γ_{02} , $\gamma_{\text{п}}$ — кути в плані леміша корпусу та твірної полицевої поверхні на рівні вищої точки підйому центру скиби (рис. 2в). Вимогу (1) задоволено при проектуванні корпусів ПНЯ.02, ПНЯ.02-0, КПЛ-30.

Після сходу з крила полиці рух верхньої скиби певний час (t_1) здійснюється в умовах вільного падіння (рис. 2г), тобто на неї діє лише сила тяжіння $G = mg$. На основі положень теоретичної механіки визначено рівняння руху скиби та її траєкторію на цій ділянці:

$$y_1 = V_{y1} t_1, \quad z_1 = 0,5 g t_1^2, \quad x_1 = 0,5 g \frac{y_1^2}{V_{y1}^2}, \quad (2)$$

Одже, після сходу з крила полиці верхня скиба рухається по параболі. Її кінцеве положення на ділянці описується технологічними параметрами:

$$l_{y1} = \Delta b - a_2 + 0,5 b, \quad h_1 = a_1 - 1,5 \mu a_2 + 0,5 \sqrt{a_2^2 + b^2}, \quad (3)$$

де $\mu = \frac{a_2'}{a_2}$ — коефіцієнт, що характеризує розпушеність

скиби після її обробітку, інші складові на рис. 2 г.

Якщо скиба по лінії траєкторії руху її центру не згруджується і не розтягується, то, враховуючи (1), представимо:

$$V_{y1} = V_{\text{м}} \sin \gamma_{02},$$

де $V_{\text{м}}$ — швидкість руху орного агрегату. Визначимо час (t_1) подолання скибою першої ділянки та швидкість $V_{\text{м}}$:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2a_1 - 3\mu a_2 + \sqrt{a_2^2 + b^2}}{g}}, \quad (4)$$

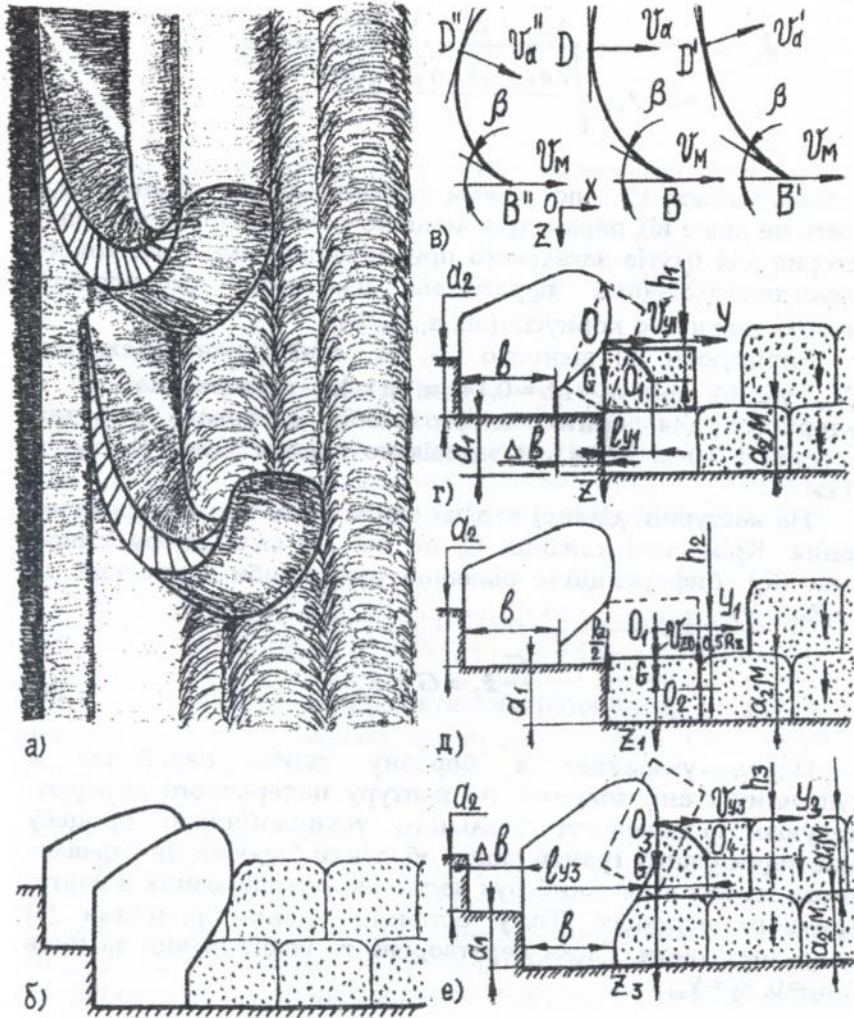


Рис. 2. Схеми до обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів ярусного плуга:
 а - технологічний процес ярусної оранки; б - розміщення верхніх та нижніх скиб після ярусної оранки (вигляд ззаду); в - до вибору кутів установки твірних лемішно-полицевої поверхні корпусу (вигляд збоку); г - рух верхньої скиби після сходу з крила полиці на першій ділянці (з поперечним зміщенням); д - рух верхньої скиби після сходу з крила полиці на другій ділянці (без поперечного зміщення); е - рух нижньої скиби після сходу з крила полиці

$$V_{\kappa} = \frac{\Delta b - a_2 + 0,5b}{\sin \gamma_{02} \sqrt{\frac{2a_1 - 3\mu a_2 + \sqrt{a_2^2 + b^2}}{g}}} \quad (5)$$

Виявляється (5), що режим роботи орного агрегату (v_{κ}) залежить не лише від параметрів лемішно-полцевої поверхні (що характерно для плугів загального призначення), але й від конструктивно-технологічних параметрів взаємного розміщення верхнього і нижнього корпусів (Δb , a_1 , a_2 , b).

Вирішуючи (5) відносно a_1 та аналізуючи залежність $a_1 = f(V_{\kappa}, \gamma_{02}, b)$ при $a_2 = \Delta b = 0,14$ м; $\mu = 1,5$ встановлено, що в характерному для орних енергозасобів інтервалі робочих швидкостей (2,0 ... 2,5 м/с) задовільно працює лише корпус з $b = 40$ см.

На наступній ділянці верхня скиба падає без поперечного зміщення. Крім сили тяжіння G , на неї діє сила опору стінок борозни (R_z). Диференціальне рівняння руху скиби в проекції на вісь O_2Z_2 :

$$\frac{G}{g} \ddot{z}_2 = G - R_z \quad (6)$$

Перед укладкою в борозну скиба перебуває в розпушеному стані, зокрема, по контуру поперечного перерізу. Враховуючи особливості реального технологічного процесу оранки, тертя бічних граней скиби об стінки борозни не справляє істотного впливу на вільний рух частинок, розташованих в центрі поперечного перерізу. Тому останнім членом рівняння (6) доцільно знехтувати. Після перетворень та інтегрування за умов $t_2 = 0$, $z_2 = 0$, $\dot{z}_2 = V_{z0}$:

$$z_2 = V_{z0} t_2 + \frac{gt_2^2}{2} \quad (7)$$

$$\text{де } V_{z0} = \sqrt{g(2a_1 - 3\mu a_2 + \sqrt{a_2^2 + b^2})}$$

Тобто швидкість V_{z0} на межі ділянок падіння скиби визначається лише технологічними параметрами процесу ярусної оранки (a_1 , a_2 , b) та властивостями ґрунту (μ). Укладка верхньої скиби в борозну завершується при $z_2 = \mu a_2$. Час руху (t_2) на другій

ділянці визначається з виразу:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2\mu a_2}{g}}$$

Загальний час (t) руху скиби з моменту сходу з крила полиці верхнього корпусу і до укладки його в борозну складає:

$$t = \sqrt{\frac{2a_1 - \mu a_2 + \sqrt{a_2^2 + b^2}}{g}} \quad (8)$$

Працюючий позаду верхнього корпусу нижній може вступати в роботу лише після закінчення укладки верхньої скиби в борозну. Інакше порушується послідовність виконання елементів технологічного процесу ярусної оранки. Тому необхідно знати найменшу допустиму відстань (l_n) від верхнього до нижнього корпусу по ходу:

$$l_n \geq V_m \left(\frac{2a_1 - \mu a_2 + \sqrt{a_2^2 + b^2}}{g} \right) \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\gamma_{02}}{2} \right) + a_1 c t g \beta + \Delta b c t g \gamma_{01} \quad (9)$$

де β — кут нахилу випереджуючої тріщини; γ_{01} — кут в плані нижнього корпусу. Зокрема, для ярусного плуга з $a_2 = \Delta b = 0,14$ м, $b = 0,4$ м, $a_1 = 0,2$ м, $\gamma_{02} = \gamma_{01} = 40^\circ$ при $V_m = 2$ м/с, $\mu = 1,5$, $\beta = 45^\circ$ відстань $l_n \geq 0,46$ м.

Рух нижньої скиби (рис. 2 е), спричинений дією плужного корпусу, також має свої особливості. За допомогою вигрібаючої форми обрису лемішно-полицевої поверхні скиба спочатку піднімається від дна борозни, а потім обертається до укладки на вихідну верхню скибу зі зміщенням вертикальних стиків. В результаті аналізу визначено рівняння руху і траєкторію нижньої скиби після сходу з крила полиці:

$$y_3 = V_m \sin \gamma_{01} t_3, \quad z_3 = 0,5 g t_3^2, \quad x_3 = 0,5 \frac{g y_3^2}{V_m^2 \sin^2 \gamma_{01}} \quad (10)$$

Кінцеве положення нижньої скиби і час від моменту сходу до її укладки на верхню визначається через технологічні параметри:

$$l_{y3} = 0,5b, \quad h_3 = 0,5(\sqrt{a_1^2 + b^2} a_1 \mu), \quad t_3 = \sqrt{\frac{\sqrt{a_1^2 + b^2} - a_1 \mu}{g}}$$

Прирівнявши $h_3 = z_3$, вирішуємо відносно V_M :

$$V_M = \frac{0,5b}{\sin \gamma_{01} \sqrt{\frac{\sqrt{a_1^2 + b^2} - a_1 \mu}{g}}} \quad (11)$$

З урахуванням технологічних особливостей процесу ярусної оранки найменша допустима відстань (l_n) по ходу від нижнього до верхнього корпусу визначається з виразу:

$$l_n = l_{ng} + a_2 \operatorname{ctg} \beta - b \operatorname{ctg} \gamma_{02}$$

де l_{ng} - довжина польової сторони нижнього корпусу. При $a_2 = 0,19$ м, $b = 0,4$ м, $l_{ng} = 0,68$ м, $\gamma_{02} = 45^\circ$ та $\beta = 45^\circ$, $l_n \geq 0,47$ м.

Взаємодію корпусів між собою відображує взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів, вирішений відносно кута в плані (γ_{02}) верхнього корпусу:

$$\gamma_{02} = \arcsin \left[\frac{2(\Delta b - a_2 + 0,5b) \sin \gamma_{01} \sqrt{\sqrt{a_1^2 + b^2} - a_1 \mu}}{b \sqrt{2a_1 - 3\mu a_2} + \sqrt{a_2^2 + b^2}} \right] \quad (12)$$

Зокрема, при $\gamma_{01} = 45^\circ$, $a_1 = 0,2$ м, $a_2 = 0,14$ м, $b = 0,4$ м та $\mu = 1,5$ кут в плані $\gamma_{02} = 40^\circ$.

Власне, розроблено механіко-математичну модель технологічного процесу ярусної оранки, яка включає рівняння руху верхньої (2, 7) і нижньої (10) скиб після сходу з полиць корпусів та залежності, що характеризують взаємодію корпусів (9, 12) через їх компоновальні параметри. Наведені елементарні моделі дозволяють визначати і аналізувати конструктивно-технологічні параметри ярусних плугів та режими їх роботи.

На основі загальної моделі опрацьовано технологічні параметри процесу ярусної оранки з утворенням півборозни, що являє собою неповну відкриту борозну. По ній в роботі здійснюється рух правих коліс трактора. Залежність між технологічними параметрами півборозни ($b_{ПБ}$, a_2), плуга (b , Δb) і колеса трактора (B_K) має вигляд: $b_{ПБ} = B_K = b + a_2$ при $\Delta b = a_2$, де $b_{ПБ}$ - ширина півборозни. Для орного агрегату з трактором Т-150К параметри півборозни складають: $b_{ПБ} = 0,54$ м, $a_2 = 0,14$ м.

Обґрунтовано технологічні параметри ярусної оранки з утворенням борозни, яку застосовують при агрегуванні плугів з

колісними тракторами класів 0,6 -1,4; 5 та гусеничними класу 3. Окремо враховано особливості умов роботи, параметри і типи рухів енергозасобів.

Мілка (на 12...22 см) оранка корпусом з кутознімом має певні особливості.

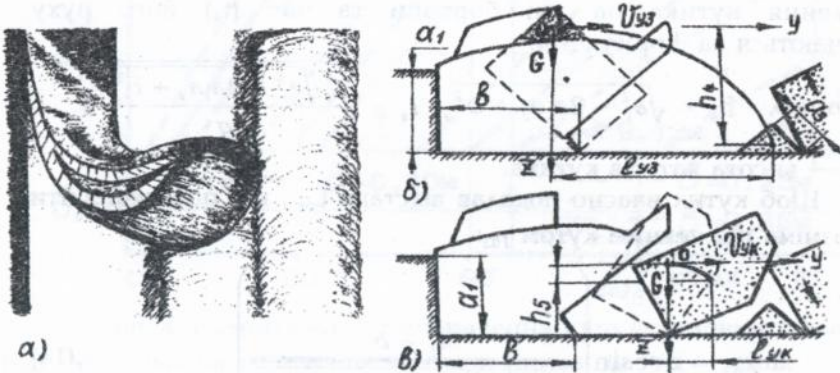


Рис. 3. Схеми до обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів плуга-луцильника:

а — технологічний процес оранки з кутознімом, вигляд зверху; б — рух кутика після сходу з крила кутозніма; в — рух основної скиби після сходу з крила полиці корпусу

Рух основної скиби та кутика (скиби, що відрізається від основної кутознімом) відбувається одночасно і незалежно (рис. 3а). Якщо одночасність виконання закладено в суть-технологічному процесі оранки, то незалежність руху скиб необхідно забезпечити відповідними параметрами взаємного розташування робочих поверхонь складного плужного корпусу та режимом роботи.

Обумовимо, що нижню кромку кутозніма встановлено горизонтально і таким чином, що вона відрізає від основної скиби лівий верхній кутик, бічні грані якого в поперечному перерізі рівні між собою. Отже, кутик вступає на кутознім після певного підйому скиби основним корпусом. Якість виконання оранки в цьому випадку залежить від того, як розташуються кутик і основна скиба після сходу з робочих поверхонь. Послідовно розглянемо рух кутика після сходу з кутозніму (рис. 3б) та основної скиби після сходу з крила полиці (рис. 3в).

Рівняння руху кутика в проекціях на вісі O_4Y_4 , O_4Z_4 та його траєкторії мають вигляд:

$$y_4 = V_m \sin \gamma_{03} t_4, \quad z_4 = 0,5 g t_4^2, \quad z_4 = 0,5 \frac{g y_4^2}{V_m^2 \sin^2 \gamma_{03}}, \quad (13)$$

де γ_{03} — кут в плані твірної робочої поверхні кутозніма. Через конструктивно-технологічні параметри корпуса кінцеве положення кутика на дні борозни та час (t_4) його руху визначаються за формулами:

$$l_{ym} = a_1 + b, \quad h_4 = \sqrt{a_1^2 - 2a_1 a_3 + b^2}, \quad t_4 = \sqrt{\frac{2\sqrt{a_1^2 - 2a_1 a_3 + b^2}}{g}},$$

де a_3 — висота катетів кутика.

Щоб кутик вчасно подолав відстань l_{ym} , він повинен зійти з кутозніма під певним кутом γ_{03} :

$$\gamma_{03} = \arcsin \left(\frac{a_1 + b}{V_m \sqrt{\frac{2\sqrt{a_1^2 - 2a_1 a_3 + b^2}}{g}}} \right) \quad (14)$$

З (14) видно, що кутознім для забезпечення якісної роботи потребує точної установки по куту γ_{03} . А цей кут залежить не лише від параметрів корпуса (b), але значною мірою від режиму роботи по швидкості (V_m) та глибині (a_1, a_3). Розроблено номограму (рис. 4), за допомогою якої можна визначити необхідний кут γ_{03} .

Рух основної скиби після сходу з крила полиці описується рівняннями в проекціях на вісі $O_5 Y_5$ та $O_5 Z_5$:

$$y_5 = V_m \sin \gamma_{ok} t_5, \quad z_5 = 0,5 g t_5^2 \quad (15)$$

де γ_{ok} — кут в плані основного корпуса. Кінцеве положення скиби і час (t_5) руху визначаються таким чином:

$$l_{yk} = 0,5b, \quad h_5 = 0,5 \left(\sqrt{a_1^2 + b^2} - a_1 \mu \right), \quad t_5 = \sqrt{\frac{\sqrt{a_1^2 + b^2} - a_1 \mu}{g}}.$$

Взаємозв'язок конструктивно-технологічних параметрів плуга-луцильника виявляється при з'ясуванні взаємодії кутозніма та основного корпуса. Незалежний рух кутика забезпечується при умові:

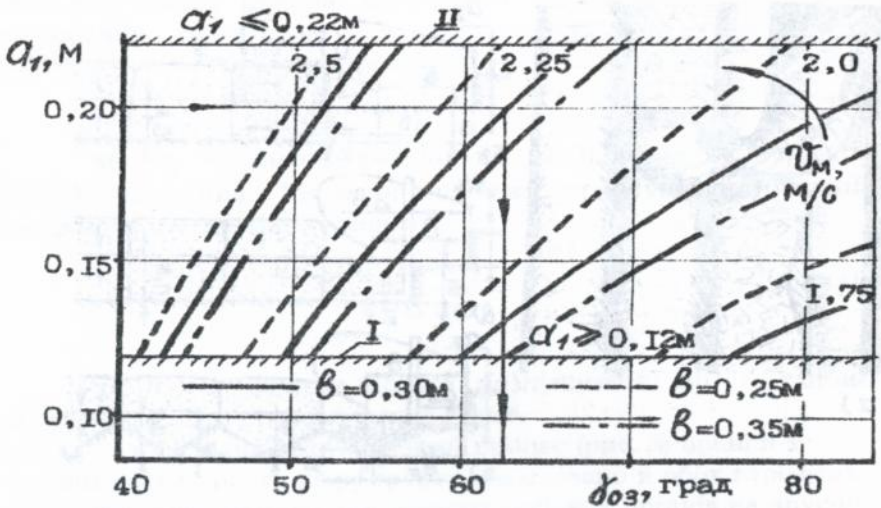
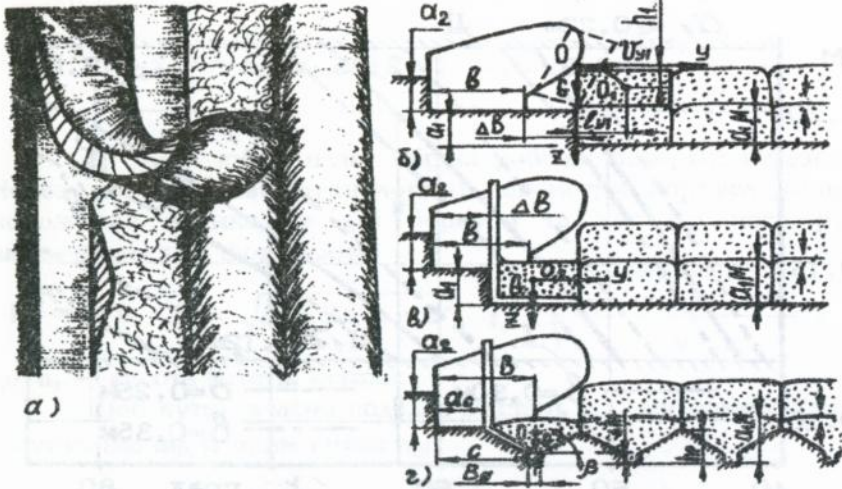


Рис. 4. Номограма для визначення кута установки в плані (γ_{03}) кутозніма на корпусі плуга-луцильника, де I, II — лінії, що обмежують зміну a_1 з агротехнічних міркувань

$$V_M \sqrt{\frac{\sqrt{a^2 + b^2} - a \mu}{g} \left(1 - \frac{\sin^2 \gamma_{\alpha}}{2}\right) + \frac{b+a}{\operatorname{tg} \gamma_{\alpha}}} \geq V_M \sqrt{\frac{2\sqrt{a^2 - 2a a_3 + b^2}}{g} \left(1 - \frac{\sin^2 \gamma_{\beta}}{2}\right) + \frac{b - \frac{\sqrt{2}}{2} a_3}{\operatorname{tg} \gamma_{\beta}}}, \quad (16)$$

При рівності правої та лівої частин має місце одночасне завершення укладки в борозну кутика і скиби. Встановлені закономірності роботи корпусу з кутознімом, взаємозв'язки режимів і параметрів плуга-луцильника використано при проектуванні робочих поверхонь корпусу і кутозніма.

Технологічний процес оранки з поглибленням орного шару характеризується обертом з переміщенням верхньої скиби і розпушенням без переміщення нижньої (рис. 5 а). Розпушення може здійснюватись плоскорізним або чизельним робочим органом. При застосуванні плоскорізного робочого органу відбувається повне підрізання нижнього шару ґрунту, а з ним і коренів багаторічних бур'янів. Проте створюються умови для виникнення "плуажної підшви". Такий процес (полицево-плоскорізний обробіток ґрунту) доцільно реалізувати на ярусних плугах з допомогою змінного корпусу нижнього ярусу. Тоді параметри встановлення леміша плоскорізного корпусу (Δb , γ_{01})



а)

б)

в)

г)

Рис. 5. Схеми до обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів плуга-розпушувача комбінованого.

а — технологічний процес оранки з поглибленням орного шару ґрунту, вигляд зверху; б — рух верхньої скиби після сходу з крила полиці плужного корпусу; в — плоскорізний обробіток нижньої скиби при полицево-плоскорізному варіанті виконання оранки; г — розпушення нижньої скиби при полицево-чизельному варіанті виконання оранки

будуть тотожними параметрам нижнього корпусу ярусного плуга. Рух верхньої скиби (рис. 5 б) по аналогії можна описати рівняннями (2), вважаючи, що $y_6 = y_1$ та $z_6 = z_1$. Кінцеве положення верхньої скиби та час (t_6) від моменту сходу до укладки визначається:

$$l_{70} = \Delta b - a_2 + 0,5b, \quad h_6 = a_1(1 - \mu) - a_2\mu + 0,5\sqrt{a_2^2 + b^2}, \quad t_6 = \sqrt{\frac{2a_1(1 - \mu) - a_2\mu + \sqrt{a_2^2 + b^2}}{g}}$$

Стосовно другого варіанту виконання технологічного процесу оранки з поглибленням орного шару ґрунту, то застосування (рис. 5 в) чизельного робочого органу дозволяє виконувати обробіток (полицево-чизельний) без створення "плужної підшови", але без підрізання коренів бур'янів в нижньому шарі. Переміщення верхньої скиби описується тими самими рівняннями, що й при полицево-плоскорізному обробітку. А от конструктивно-технологічні параметри установки чизельного

робочого органу повинні відповідати певним умовам. Зокрема, положення розпушувача відносно плужного корпусу характеризується параметрами a_c та c :

$$0 \leq a_c \leq a_2 + 0,5b, \quad c = a_c + h_p \operatorname{ctg} \beta \quad , (17)$$

де h_p — висота гребенів на дні борозни. Для повного (100%) знищення "плужної підшви" розпушувачі повинні працювати на глибині не менше:

$$a_1 \geq \frac{b - B_g}{2 \operatorname{ctg} \beta} + \Delta h \quad , (18)$$

де B_g — ширина долота розпушувача; Δh — глибина вдавнення долота розпушувача в ґрунт.

Розроблений технологічний процес (рис. 5) оранки з поглибленням орного шару ґрунту реалізовано в обох варіантах виконання при застосуванні змінних робочих органів на ярусних плугах та в плугах-розпушувачах комбінованих. Він займає проміжне положення між глибокою (25...35 см) ярусною та мілкою (12...22 см) оранками. Розроблені механіко-математичні моделі технологічних процесів ярусної оранки, лемішого лущення корпусом з кутознімом та оранки з поглибленням (в двох варіантах виконання) складають технологічну основу вдосконалення засобів механізації відвального обробітку ґрунту й спрямовані на істотне підвищення його якості в системі сівозмін України. Адекватність одержаних моделей реальним процесам підтверджено в ході експериментальних досліджень. Зокрема, встановлено характер впливу конструктивно-технологічних параметрів a_1 та γ_{02} ярусного плуга на агротехнічні показники глибини загортання рослинних решток - $h_{\text{за}}$, розпушення ґрунту - K_p , гребінчатості поверхні поля - Γ_p , глибини оранки - a , ширини захвату плуга - B при контрольованих тягово-енергетичних показниках тягового опору плуга - R , швидкості руху агрегату - V_M , та буксування - δ (рис. 6).

Оптимізацію параметрів a_1 та γ_{02} здійснено з допомогою розробленого узагальнюючого критерію якості ярусної оранки:

$$A = q_h \left(\frac{h_{\text{за}} - h_{\text{нр}}}{h_{\text{нр}}} \right)^2 + q_k \left(\frac{K_p - K_{\text{по}}}{K_{\text{по}}} \right)^2 + q_r \left(\frac{\Gamma_p - \Gamma_{\text{по}}}{\Gamma_{\text{по}}} \right)^2 + q_B \left(\frac{B_1 - B_0}{B_0} \right)^2 \quad , (19)$$

де q_h, q_k, q_r, q_B - питома вага окремих критеріїв оптимізації; $h_{\text{нр}}$ -

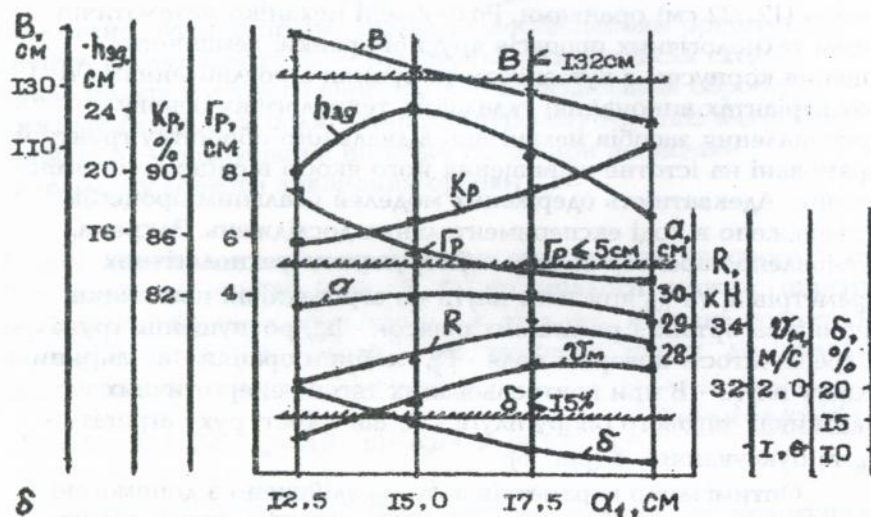
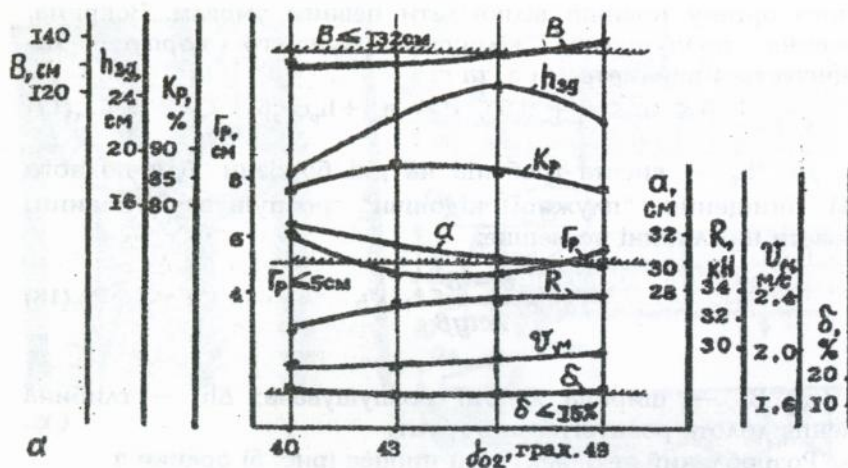


Рис. 6. Залежності агротехнічних ($h_{за}$, K_p , Γ_p , α , B) та тягово-енергетичних (R , V_m , δ) показників ярусної оранки від конструктивно-технологічних параметрів: а - кута в плані верхнього корпуса γ_{02} , б - висоти установки верхнього корпуса відносно нижнього α_1

K_{pov} , Γ_{pov} , B_o - "ідеальні" значення окремих критеріїв оптимізації, $h_{зап}$, K_{piv} , Γ_{piv} , B_i - поточні значення показників якості оранки. З врахуванням вимог до оранки під с.-г. культури II технологічної групи: $q_h=0,46$, $q_x=0,29$, $q_r=0,13$, $q_b=0,12$; $h_{зао}=21,8\text{см}$, $\Gamma_{po}=4,7\text{см}$; $K_{po}=100\%$; $B_o=120\text{см}$.

Методом послідовних наближень з (19) при $A=A_{min}$ визначено оптимальні $\gamma_{02}=45^\circ$ та $a_1=17,5\text{см}$. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень одержано раціональні конструктивно-технологічні параметри робочих органів та їх взаємного розміщення на ярусних плугах, плугах-луцильниках та плугах розпушувачах комбінованих.

Зокрема враховано, що умови достатньої стійкості руху плугів в площині поля формуються при визначенні параметрів польових дошок полицевих плужних корпусів. За допомогою розроблених номограм, зважаючи на різницю в умовах роботи, вибрано раціональні параметри польових дошок плугів-луцильників ($100 \times 300\text{мм}^2$) та ярусних плугів ($150 \times 450\text{мм}^2$).

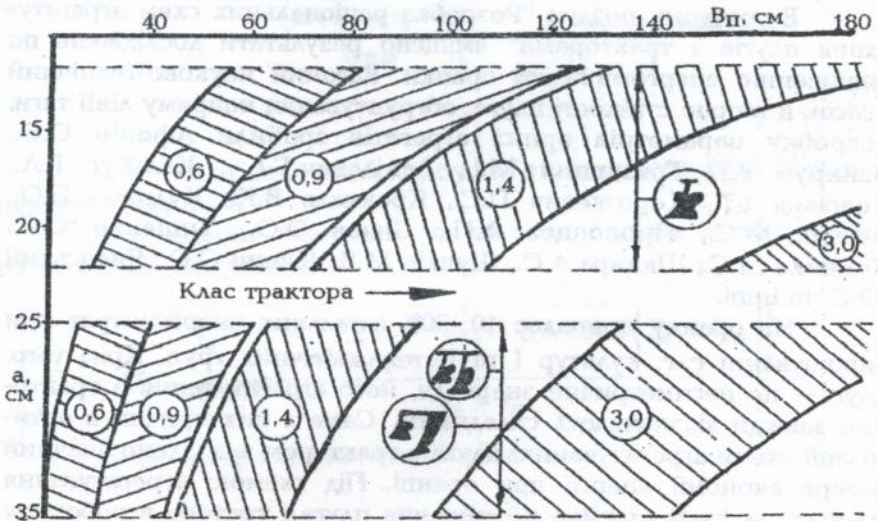


Рис. 7. Схема зон можливого ефективного застосування плугів-луцильників, ярусних плугів та плугів-розпушувачів комбінованих

Аналіз залежностей експлуатаційно-технологічних показників роботи плугів різних типів від їх конструктивно-технологічних параметрів (рис. 7) дав змогу оцінити потенційні можливості орних агрегатів. Так, відповідно до умов, плуг-

луцильний до тракторів класу 1,4 може мати ширину захвату від 0,7 до 2,0 м і продуктивність роботи в межах 0,4...1,4 га/год. В багатьох випадках потенційна продуктивність плугів наближається до продуктивності чизелів і плоскорізів, тобто існують реальні резерви зменшення енергомосткості оранки.

Білі прогалини на розробленій схемі (рис. 7) свідчать зокрема про відсутність проміжного тягового класу тракторів між 1,4 та 3. Попадаючи в такі умови виробничники змушені знімати (встановлювати) додаткові корпуси на плузі або впроваджувати конструкції зі змінною шириною захвату (типу ПНІ).

В результаті проведених механіко-технологічних досліджень обґрунтовано перспективні технологічні процеси оранки, параметри та компоувальні схеми робочих органів ярусних плугів, плугів-розпушувачів комбінованих та плугів-луцильних. Їх реалізація створює умови для виконання сучасних вимог агротехніки, підвищення якості оранки в системі сівозмін на Україні.

В третьому розділі "Розробка раціональних схем агрегування плугів з тракторами" вміщено результати досліджень по зменшенню енергомосткості оранки. Вагомий науково-технічний внесок в теорію стійкості плуга, обґрунтування напряду лінії тяги, розробку параметрів орних агрегатів зробили Афонін О.Є., Вайнруб В.І., Грицишин М.І., Данілевич Г.І., Кальбус Г.Л., Ковріков І.Т., Короткевич П.С., Крохмаль В.К., Кудинов П.О., Левчук М.С., Прокопцев Л.П., Сизов О.О., Тищенко С.С., Хоменко М.С., Шквіра А.С., Щучкін М.В., Юшин О.О., Яновський Ю.С. та інші.

На оранку припадає 10...30% загальних енерговитрат при вирощуванні с.-г. культур І та ІІ технологічних груп. Крім того, плуг — це несиметричне знаряддя, його агрегування з трактором завжди відзначалось складністю. Саме з цих причин в оптимізації схеми агрегування плуга з трактором закладено значний резерв економії енергії при оранці. Під схемою агрегування мається на увазі взаємне розміщення плуга і тратора в робочому положенні у площині поля. Досі оцінку конкуруючих схем проводили шляхом експлуатаційно-технологічних випробувань фізичних зразків агрегатів. В процесі проведених досліджень розроблено методику аналітичного розрахунку схем агрегування. При обґрунтуванні принципів оцінки виходили з необхідності забезпечення статичної рівноваги плуга та вимоги зменшення енергомосткості процесу оранки. Відповідно до цього розроблено критерії оцінки: K_n - безрозмірний показник невірноваженості плуга в площині поля та $\Delta R_{r_{\text{пл}}}$ - приріст тягового опору плуга, %.

Критерій K_H обґрунтовано в результаті силового аналізу схем агрегування на основі систем рівнянь рівноваги плуга. Він характеризує співвідношення між сумарними моментами сил опору (ΣM_R) на робочих лемішно-полицевих поверхнях корпусів та сил тертя (ΣM_F) на їх польових дошках і визначається за формулою:

$$K_H = \frac{\sum M_F - \sum M_R}{\sum M_F} \quad (20)$$

Втім, формула (20) відображає лише фізичну суть критерія K_R . Для аналітичних розрахунків розроблено докладні механіко-математичні моделі. Так, рівновагу ярусного плуга (рис. 8) в площині поля можна оцінити за допомогою виразу:

$$K_H^a = \frac{\frac{(m+1)\cos(\nu_0+\varphi)}{\cos\varphi} \left[n \cdot l_n + \frac{n(n-1)}{m} \cdot l_F \right] - [m \cdot l_{c1} + n(n-1)l_{xy1}] - \left[n \cdot l_{c2} + \frac{n(n-1)}{m} \cdot l_{xy2} \right]}{\frac{(m+1)\cos(\nu_0+\varphi)}{\cos\varphi} \left[n \cdot l_n + \frac{n(n-1)}{m} \cdot l_F \right]} \quad (21)$$

де n - кількість секцій корпусів; φ - кут тертя; інші складові наведено на рис. 8.

Для оцінки рівноваги плуга-розпушувача комбінованого вираз (20) має вигляд:

$$K_H^p = \frac{l_n + l_F - \frac{1}{\cos(\gamma_0 + \varphi)} [c - b + \cos\varphi (l_{c2} + l_{xy2})]}{l_n + l_F} \quad (22)$$

де $\gamma_0 = \gamma_{02}$. Для плуга-луцильника:

$$K_H^A = \frac{l_n + l_F - \frac{\cos\varphi}{\cos(\varphi + \gamma_0)} (l_c + l_{xy})}{l_n + l_F} \quad (23)$$

де $l_{xy} = l_{xy1}$, $l_c = l_{c1}$.

Розроблено відповідні залежності для визначення складових l_n , l_F , l_{c1} , l_{c2} , l_{xy1} та l_{xy2} . Результати проведеного аналізу підтвердили, що на рівновагу плуга будь-якого типу в площині поля впливають дві основні групи показників — параметри

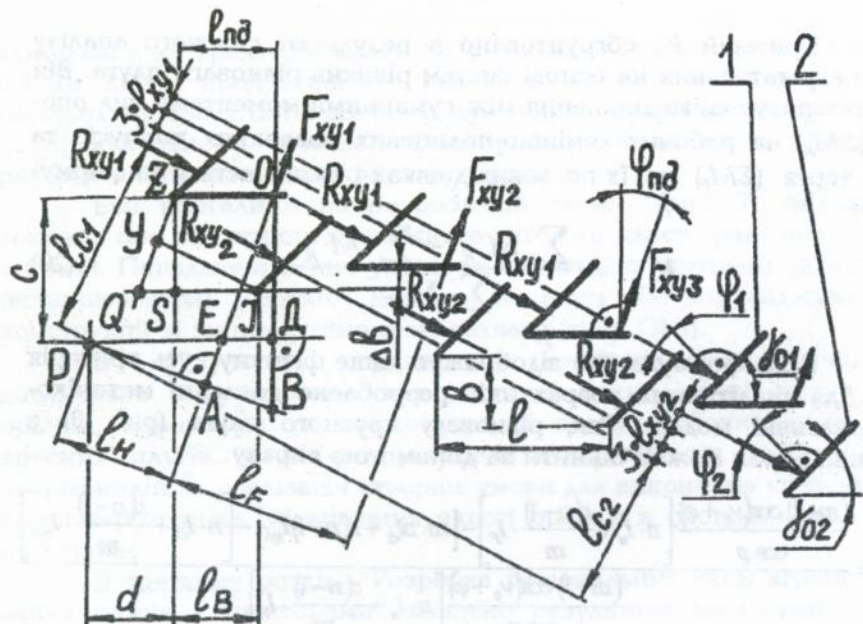


Рис. 8. Схема сил, що діють на ярусний плуг в площині поля: 1, 2 - нижній та верхній корпуси; R_{xy1} , R_{xy2} - горизонтальні складові сил опору на корпусах; F_{xy1} , F_{xy2} , ..., F_{xyn} - горизонтальні складові сил тертя на польових дошках; γ_{01} , γ_{02} , b , Δb , l , l_1 , l_2 , c , d - конструктивно-технологічні параметри ярусного плуга та схеми його агрегування, з допомогою яких визначаються складові l_{xy1} , l_{xy2}

взаємного розміщення робочих органів та прийнятої схеми агрегування. Умови роботи враховано в показниках φ та m .

Другий критерій (K_R) характеризує ефективність обраного напрямку лінії тяги при даній схемі агрегування, яка визначає взаємне розміщення центру опору плуга та повздожньої вісі трактора. Зі зміною напрямку лінії тяги (схеми агрегування) змінюється тяговий опір плуга. Тому його відносний приріст може правити за критерій оцінки різних схем. Показник K_R відображує збільшення (зменшення) тягового опору плуга при несиметричному розміщенні центра опору плуга відносно повздожньої вісі трактора. В випадку співпадіння лінії тяги з напрямом руху агрегату тяговий опір приймаємо за 100%. Тоді приріст тягового опору K_R визначається за формулою:

$$K_R = 100[\cos \psi_n + \sin \psi_n \cdot \operatorname{tg}(\varphi + \psi_n) - 1] \quad (24)$$

Кут між напрямками руху та лінії тяги ψ_n обумовлений особливостями конструкції плуга, параметрами схеми його агрегування з трактором:

$$\psi_n = \operatorname{arctg}\left(\frac{e}{L_n}\right) \quad (25)$$

де e , L_n - поперечна та повздожня координати центру опору плуга відносно точки приєднання його до трактора. На основі (24 та 25) розроблено номограму (рис. 9) для порівняння схем агрегування між собою за критерієм K_R . Визначено аналітичні залежності e та L_n від конструктивно-технологічних параметрів плуга і трактора.

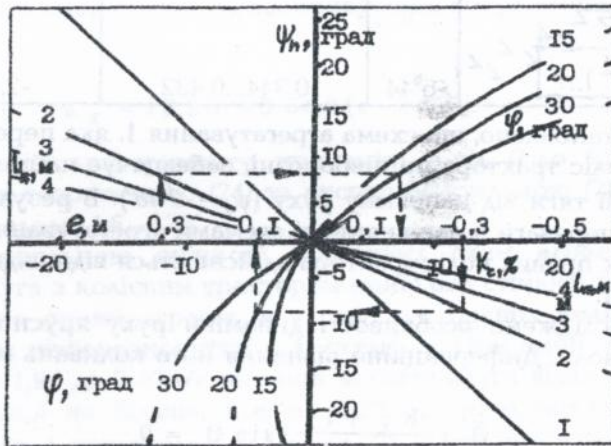
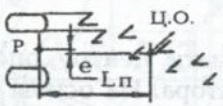
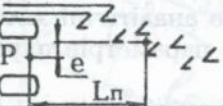
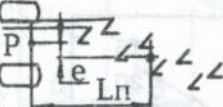


Рис. 9. Номограма для визначення показника приросту тягового опору K_R в залежності від параметрів схеми агрегування (e , L_n) та умов роботи (φ)

На основі розроблених критеріїв K_n та K_R запропоновано методику аналітичної оцінки схем агрегування плуга з трактором, яку реалізовано в комп'ютерній програмі до ПЕОМ. За допомогою цієї методики проведено оцінку схем агрегування плугів всіх типів з тракторами класів 0,6-5. Зокрема, проаналізовано агрегування ярусного плуга з колісним трактором Т-150К. Результати аналітичної оцінки наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Результати аналітичної оцінки схем агрегування

№ схем и	Схема агрегату	Кут ψ_n	Межі змін значень показників K_H та K_R в залежності від φ	
			K_H	$K_R, \%$
1		$-0^\circ 48'$	0,018...-0,094	-0,5...-1,0
2		$8^\circ 52'$	-0,166...-0,373	6,0...11,5
3		$-6^\circ 44'$	0,344...0,432	-2,0...-6,3

Встановлено, що схема агрегування 1, яка передбачає рух правих коліс трактора по півборозні, забезпечує найменше відхилення лінії тяги від напрямку руху ($\psi_n = -0^\circ 48'$). В результаті цього вона має переваги в порівнянні зі схемами агрегування 2 та 3, за якими рух правих коліс трактора здійснюється відповідно по полю та борозні.

Досліджено особливості динаміки руху ярусного плуга в площині поля. Диференціальне рівняння його коливань має вигляд:

$$\ddot{\Theta} + \frac{R_x + F_x}{m l} \cdot \sin \Theta = 0 \quad (26)$$

де Θ - кут повороту плуга, l - приведена відстань від центра повороту до центра опору плуга, R_x , F_x - поздовжні складові сил опору на лемішно-полицевих поверхнях та сил тертя на польових дошках. Після перетворень рішення рівняння (26) можна представити:

$$\Theta = \frac{\Theta_0}{p} \cdot \sin pt = A \cdot \sin pt \quad (27)$$

де p - колова частота коливань, A - кутова амплітуда коливань плуга. Отже, плуг в роботі здійснює вільні гармонічні коливання. Максимально допустимий кут повороту (Θ_{\max}) плуга в

процесі коливань складає: $\Theta_{\max} \leq 0,05B/l$, де B - ширина захвату плуга. Звідси, виконання технологічного регламенту по стійкості ширини захвату (B) плуга забезпечується перш за все на довгобазисних плугах. Це враховано при визначенні раціональних конструктивно-технологічних параметрів плугів (ярусних, лушчильників, розпушувачів комбінованих, оборотних), динаміка руху яких зводиться до розробленої механіко-математичної моделі.

З допомогою графо-аналітичного метода проаналізовано взаємне розміщення корпусів ярусного плуга та визначено, що при агрегуванні 3-х або 4-х корпусного плуга ($b=0,4\text{м}$) з колісним трактором Т-150К (при ширині колії 1,86м чи 1,68м) перевагу слід надати схемі, яка передбачає встановлення верхнього корпусу останнім в напрямку руху, тобто схемі 1. Розроблені аналітичні передбачення перевірено в процесі лабораторно-польових досліджень.

Визначено експериментальну залежність показника приросту тягового опору плуга K_R від поперечної координати e центра опору:

$$K_R = 12,28 + 0,538(e - 24,7) \quad (28)$$

В межах експерименту, при зміні e від 0 до 0,53м, розбіжність між теоретичною (24) та експериментальною (28) залежностями складала 1,6...5,7%.

Порівняльною оцінкою можливих схем агрегування ярусного плуга з колісним трактором найбільш стійким в площині поля визнано орний агрегат, в якому рух правих коліс Т-150К здійснюється півборозною (табл. 1, схема 1). При зміні швидкості його руху з 1,94 до 2,40м/с ширина захвату плуга відхилялась від конструктивної не більше, ніж на 8,2%, а середньоквадратичне відхилення ($\sigma_{\text{вп}}$) знаходилось у межах 2,6...3,6см, що узгоджується з теоретичними передумовами. Схема агрегування 1 забезпечила в порівнянні з іншими (2-ю, 3-ю) при оранці на I-й, II-й та III-й передачах найменші питомі енергомісткості ($E_{\text{уд}} = 204,8...249,7$ кВт/м²) й тяговий опір ($R_{\text{уд}} = 66,1...69,9$ кПа). В умовах руху правих коліс трактора над борозною (схема 2): $E_{\text{уд}} = 211,6...258,5$ кВт/м² та $R_{\text{уд}} = 71,2...73,7$ кПа. Агрегат, в якому рух правих коліс трактора виконується борозною, забезпечив роботу лише на I-й та II-й передачах, при цьому $E_{\text{уд}} = 215,1...237,7$ кВт/м² та $R_{\text{уд}} = 72,4...72,8$ кПа. Визначено також, що при оранці на 30...32 см та глибині руху нижнього корпусу 17,5 см тяговий опір верхнього корпусу в 3,6...4,1 рази менший, ніж нижнього. Це враховано при аналізі результатів.

Таким чином, розроблені механіко-математичні моделі адекватно характеризують орні агрегати, а методика аналітичної оцінки дозволяє без зайвих витрат аналізувати можливі схеми та визначати раціональні з них за критеріями K_n та K_R для всіх типів плугів з усіма класами тракторів. Це створює умови для зменшення енергомісткості оранки при застосуванні нових орних агрегатів.

В четвертому розділі "Ефективність розроблених технологічних процесів оранки, робочих органів та плугів нового сімейства" вміщено результати лабораторно-польових досліджень, випробувань та польових дослідів, викладено загальну та окремі методики, реалізовані в процесі експериментів.

Визначення агротехнічних та енергетичних показників проведено згідно методик ОСТ 70.4.1-80 та ОСТ 70.2.2-73. Уточнено: методику вимірювання глибини оранки у випадку роботи агрегату з утворенням півборозни, методику визначення вирівняності поверхні поля. Розроблено ряд окремих методик. Дослідження проведено з застосуванням принципу багатократності вимірів.

Для визначення енергетичних показників застосовувались спеціальні тензостовби, тензовісі консольного типу, тензостанція на базі трактора Т-150К, вимірювально-реєструюча апаратура "ЭМА-ПМ", паливоміри, тощо. Лабораторно-польові дослідження здійснювались за допомогою спеціальних установок, приладів, обладнання. Обробку результатів проведено з використанням методів математичної статистики, в тому числі дисперсійного, кореляційного та регресивного аналізу.

Виконання ярусної оранки під культури II технологічної групи забезпечують плуги ярусні до тракторів класів 0,6-5. Агротехнічні та енергетичні показники роботи ярусних плугів (серійного ПЯ-3-35 та експериментального ПНЯ-4-40) в агрегаті з трактором Т-150К вивчались на трьох рівнях швидкостей та двох рівнях глибини (28 та 35см) оранки. Глибина загортання рослинних решток складала при роботі плугом ПНЯ-4-40 від 16,6 до 25,7см, а плугом ПЯ-3-35 — від 16,1 до 24,6см. Розпушення ґрунту експериментальний плуг виконував на 1,6...7,1% краще, ніж серійний. В цілому по агротехнічним показникам порівнювані плуги демонстрували близькі результати, які задовільняють вимоги до оранки під II технологічну групу с.-г. культур. За питомими енергетичними показниками плуг ПНЯ-4-40 суттєво перевершив серійний аналог. Продуктивність за годину орного агрегату Т-150К+ПНЯ-4-40 складала 0,81...1,02га, агрегату Т-150К+ПНЯ-3-35 — 0,61...0,80га. Підвищення продуктивності

розробленого агрегату досягнуто за рахунок зменшення питомої енергомосткості технологічного процесу, що викликано застосуванням нової схеми агрегаткування ярусного плуга з трактором Т-150К та раціональним розміщенням робочих органів ПНЯ-4-40.

Виконання оранки з поглибленням на глибину 25...35см у вигляді полицево-плоскорізного обробітку ґрунту може реалізуватися за допомогою змінних робочих органів на ярусних плугах сімейства ПНЯ. Дослідженням можливих технологічних поєднань верхнього та нижнього корпусів (ПНЯ.02/АСМ.03-I, ПНЯ.02/ПНЯ.51-II, ПНЯ.02/ПНЯ.61-III) визначено, що за ступенем загортання рослинних решток (96,1...97,6%), розпушенням ґрунту (85,4...93,6%), вирівняністю поверхні поля (2,1...2,7см) конкуруючі варіанти задовільняють вимоги агротехніки й істотно не відрізняються між собою. Аналіз енергетичних показників роботи засвідчив істотні переваги II та III варіантів. Зокрема, тяговий опір плоскорізного корпусу нижнього яруса ПНЯ.51 на 34%, а ПНЯ.61 на 18% менший, ніж у АСМ.03. Експлуатаційно-технологічна перевірка змінних робочих органів при виконанні оранки з поглибленням орного шару ґрунту довела, що на чистих від рослинних решток фонах перевагу в застосуванні необхідно надавати варіанту II, на всіх інших — варіанту III.

Виконання оранки з поглибленням у вигляді полицево-чизельного обробітку ґрунту забезпечують плуги-розпушувачі комбіновані сімейства ПРК. В порівнянні з виробничою технологією (оранка плугами ПЛН + поглиблення чизельним агрегатом АЧП) плуги-розпушувачі ПРК-4-40, ПРК-6-40, виконуючи технологічний процес за один прохід, дозволяють скоротити витрати палива на 5,6...6,5кг/га при задовільному рівні агротехнічних показників оранки.

Виконання мілкої оранки (на 12...22см) плугом-лушцильником з шириною захвату корпусу 30см в порівнянні з плугом загального призначення забезпечує навіть з трактором класу 0,6 підвищення продуктивності орного агрегату на 0,10...0,11га/год. При цьому агротехнічні показники по загортанню рослинних решток (95%), розпушенню ґрунту (81%), гребінчатості поверхні поля (4,7см) відповідають вимогам до оранки під культури I технологічної групи.

В результаті порівняльної оцінки роботи оборотних плугів ПНО-5-40 та Kverneland в агрегаті з трактором Т-151К визначено, що вітчизняний плуг, адаптований до роботи в умовах України, забезпечує на 5,0...13,3% меншу питому витрату палива на гектар.

Дослідження, безпосередньо пов'язані з впливом на

природне середовище, повинні супроводжуватись оцінкою наслідків такого втручання. З цих позицій окремо вивчено агротехнічну доцільність розроблених технологічних процесів оранки.

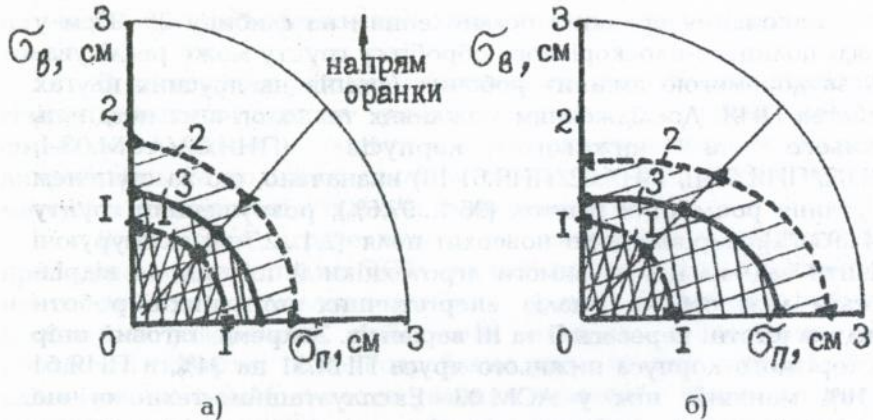


Рис.10. Залежності, що характеризують зміну вирівненості поверхні поля при оранці агрегатом Т-150К + ПНЯ-4-40: а - на глибину 30см, б - на глибину 35см; σ_v , $\sigma_{п}$ - вирівняність вздовж і впоперек напрямку оранки; 1, 2, 3 - криві зміни вирівняності поверхні поля до початку оранки, зразу після проходження агрегата та після осінньо-весняної усадки ґрунту

Розроблено оригінальну методику й досліджено зміни вирівненості (σ) поверхні поля в залежності від складу орного агрегату, режиму роботи, напрямку та часу вимірювань ординат профілю. Встановлено, що при $a = 30...32$ см орний агрегат Т-150К + ПНЯ-4-40 забезпечив в умовах експерименту найвищу якість вирівнювання при оранці на швидкості 2,0м/с. Зі збільшенням глибини обробітки a вирівняність поверхні поля погіршувалась, тобто σ збільшувалась (рис.10).

Ярусна оранка забезпечує кращі умови для вирощування с.-г. культур II технологічної групи, ніж звичайна. Це зумовлено, перш за все, глибоким (на 15...26см) загортанням рослинних решток, насіння бур'янів, шкідників і подразників хвороб. Зменшення засміченості посівів цукрових буряків та кукурудзи на 55,1...61,0% внаслідок ярусної оранки сприяє підвищенню врожайності вирощуваних с.-г. культур. Польові дослідження проведено в типових умовах спільно з Інститутами цукрових буряків та кукурудзи УААН.

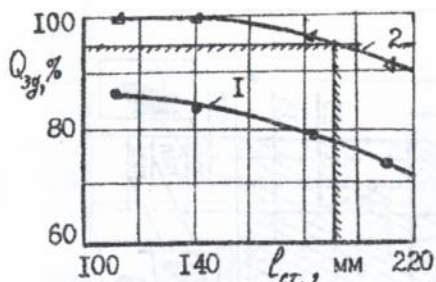


Рис. 11. Залежність ступеню заорювання рослинних решток кукурудзи від їх довжини:
1-після проходу ПАН-5-35,
2-після проходу ПНЯ-4-42

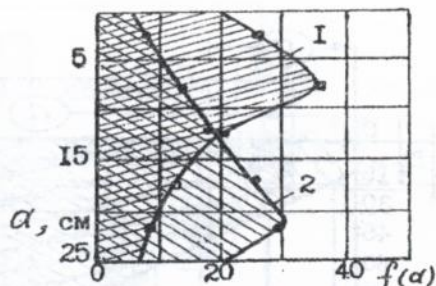


Рис. 12. Розподіл листо-стеблевої маси ($0,95 \text{ кг/м}^2$) в орному шарі ґрунту після проходу:
1-плуга ПАН-5-35,
2-ярусного плуга ПНЯ-4-42

Відвальна оранка відіграє важливу роль в поповненні органічною речовиною ґрунту, збереженні його родючості. Її застосовують для загортання сидератів, гною, рослинних решток (соломи, листо-стеблевої маси кукурудзи, тощо). Дослідженнями в цьому напрямі встановлено, що заорювання сидератів (гороха, донника) без істотних змін врожайності с.-г. культур дозволяє на 31,3...36,6% зменшити прямі витрати в порівнянні з відповідним заорюванням (60 т/га) органічних добрив. Спільно з відділом просапних культур ІМЕСГ, Інститутом землеробства УААН вивчено вплив довжини відрізків стебел кукурудзи на якість заорювання листо-стеблевої маси в ґрунт (рис. 11) різними плугами (ПНЯ-4-42, ПЯ-3-35, ПАН-5-35). Одержані розподіли (рис. 12) листо-стеблевої маси кукурудзи по глибині орного шару характеризують кількісно та якісно різницю в роботі плугів ярусних (ПНЯ-4-42) і плугів загального призначення (ПАН-5-35).

В результаті проведених досліджень, даних випробувань на МВС, матеріалів науково-виробничої перевірки встановлено, що розроблені технологічні процеси, робочі органи та плуги для їх виконання задовільняють вимоги до оранки під с.-г. культури, поширені на Україні, ефективні в агротехнічному та енергетичному розумінні, забезпечують відповідний економічний ефект, сприяють збереженню родючості ґрунту та екологічній безпеці навколишнього середовища. Таким чином, при їх системному застосуванні, розроблені техпроцеси, плуги і робочі органи дозволяють підняти загальний рівень культури відвального обробітку ґрунту і створити умови для скорочення щорічних обсягів оранки до 60-50% посівних площ.

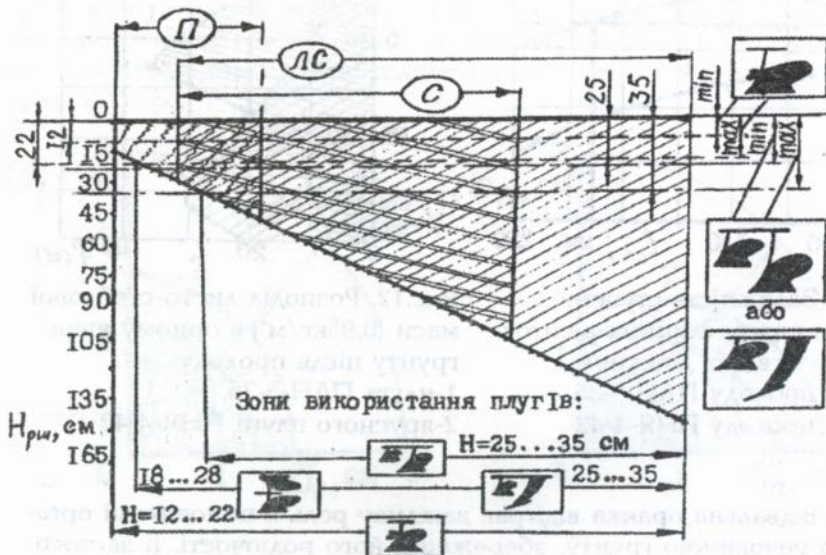


Рис.13. Диференціація технологічних процесів оранки в залежності від потужності орного шару ґрунту



Рис.14. Диференціація технологічних процесів оранки залежно від глибини залягання коренів: 1-льону, 2-ярих зернових, 3-багаторічних трав, 4-озимих зернових, 5-зернобобових, 6-круп'яних, 7-картоплі, 8-кукурудзи, 9-соняшнику, 10-цукрових буряків

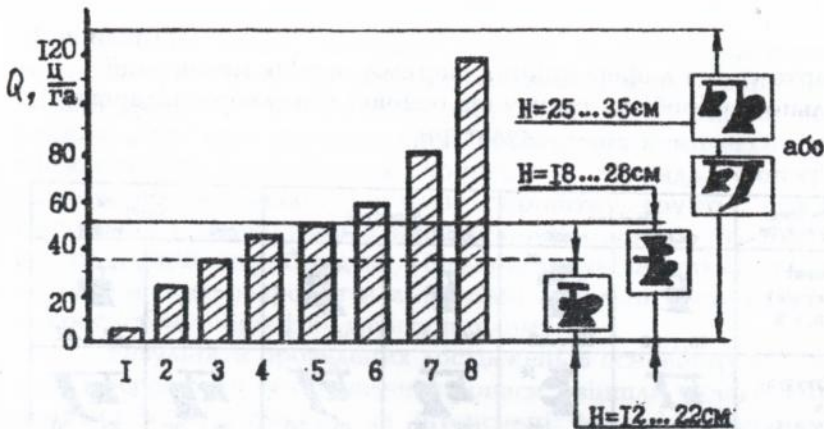






















































Рис.15. Диференціація технологічних процесів оранки від кількості рослинних решток на поверхні поля: 1-після буряків, 2-після картоплі, 3-після озимих, 4-після кукурудзи, 5-після озимих (солому залишено), 6-перед заорюванням люпину, 7-перед заорюванням багаторічних трав, 8-після кукурудзи (листо-стеблову масу залишено)

В п'ятому розділі "Розробка диференційної системи відвального обробітку та впровадження результатів досліджень" об'єднано основні науково-практичні результати виконаних робіт.

В процесі систематизації даних конструктивно-технологічних розробок, результатів агротехнологічної оцінки ефективності перспективних технологічних процесів, плугів і робочих органів синтезовано диференційну систему засобів механізації оранки (ДСЗМО). Вона розподіляє технологічні процеси оранки в залежності від потужності орного шару (рис.13), від глибини розміщення коренів культурних рослин (рис.14), від кількості рослинних решток на поверхні поля (рис.15), враховує обсяги вирощування с.-г. культур.

В рамках ДСЗМО розроблено карто-схему (табл. 2), на якій вміщено близько 60 варіантів відвального обробітку ґрунту під основні с.-г. культури відповідно до ґрунтово-кліматичних зон України. З деякими припущеннями цю карто-схему можна вважати реалізацією принципів "оранки на замовлення". У відповідності з ДСЗМО розроблено перспективну структуру сімейства плугів (рис.1). Обґрунтовано раціональні схеми агрегування плугів всіх типів з тракторами класів 0,6-5. В ході досліджень розроблено і практично апробовано алгоритм розробки систем механізованого обробітку ґрунту. Він включає структурний аналіз умов,

Карто-схема диференційної системи засобів механізації
відвального обробітку ґрунту під основні сільськогосподарські
культури

Гр.	Зони Культури	Полісся		Лісостеп		Степ	
		осн.	МОЖ.	осн.	МОЖ.	осн.	МОЖ.
I	Овочі зернові 28,5 %	 18...22	 *	 20...22	 *	—	 20...22
II	Кукурудза 15,2 %	 25...27	 *	 25...30	 25...30	 25...30	 25...30
I	Багато- річні трави 13,5 %	 18...22	 *	 20...22	 *	—	 20...22
I	Ярі зернові 10,8 %	 18...22	 *	 20...22	 *	—	 20...22
II	Буряки 7,3 %	 25...27	 25...27	 25...35	 25...35	 25...35	 25...35
I	Зерно- бобові 5,0 %	 18...22	 *	 20...22	 *	—	 20...22
II	Картопля, свочі 4,5 %	 25...27	 *	 25...30	 25...30	 25...30	 25...30
II	Соняшник 3,3 %	—	 25...27	 25...32	 25...32	 25...32	 25...32
I	Круп'яні 1,9 %	 18...22	 *	 20...22	 *	—	 20...22
I	Льон- довгунець 0,8 %	 18...22	 *	 18...22	 *	—	—

* — на мілкоконтурних полях,

** — в т.ч. на зрошуваних полях.

формалізацію вимог, методику відбору та вибір перспективних технологічних процесів, обґрунтування параметрів техпроцесів та компоновальних схем робочих органів, методику оцінки та вибір раціональних схем агрегування, проведення комплексної оцінки ефективності розроблених процесів і знарядь, формування науково-обґрунтованої системи обробітку ґрунту, створення відповідного сімейства ґрунтообробних знарядь та підготовку рекомендацій виробництву. Використовуючи такий підхід як основу, можна розробляти аналогічні локальні системи, а також макросистему обробітку ґрунту в цілому.

Результати проведених досліджень в основному впроваджені. Перспективні технологічні процеси увійшли складовими елементами в індустріальні та інтенсивні технології вирощування цукрових буряків, кукурудзи, соняшнику, овочевих культур, картоплі і т.д.

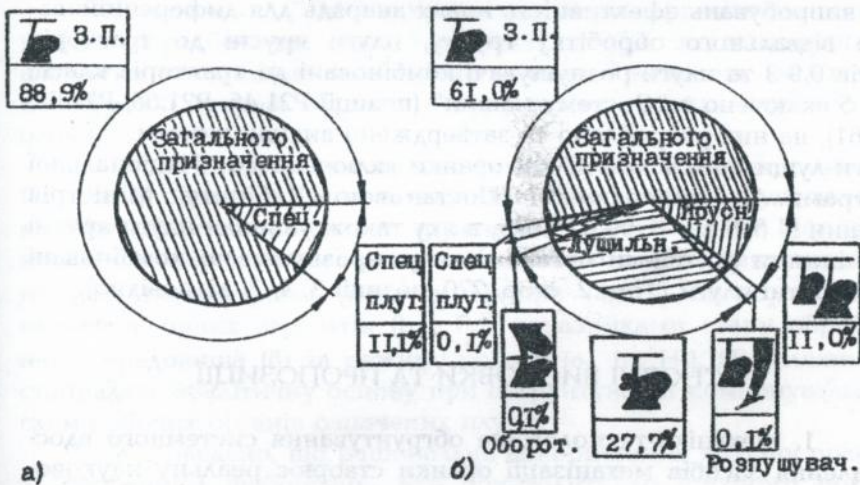


Рис.16. Структура випуску плугів на Україні:

а - в 1980 році, б - в 1995 році

Плуги ярусні, розпушувачі комбіновані, лемішні луцильні та оборотні плуги складають основу нового сімейства знарядь полицевого типу. Більшість з них пройшли випробування на МВС, мають відповідну технічну документацію. З 27 найменувань плугів (опрацьованих в рамках ДСЗМО) 12 знаходяться на серійному виробництві (заводи "Одесаґрунтомаш" та "Кам'янець-Подільськільмаш"), інші проходять стадії розробки, випробувань чи

науково-виробничої перевірки.

В структурі випуску плугів на Україні (рис.16) значно зменшилась частка плугів загального призначення, істотно збільшилась кількість ярусних плугів, плугів-луцильників

Відбулись значні зміни у випуску плугів до різних класів тракторів. В цілому за останні 15 років для забезпечення потреб аграрного виробництва випущено понад 17 тисяч штук плугів (ярусних, розпушувачів комбінованих, луцильників, оборотних), частина з яких експортується в країни СНД, Польщу, Угорщину, Румунію. Нові технічні рішення в галузі обробітку ґрунту захищено 15 пріорітето-охоронними свідоцтвами. Випущено 6 науково-методичних рекомендацій з питань ефективного застосування розроблених техпроцесів, плугів, схем агрегування та змінних робочих органів.

Зважаючи на встановлену в процесі досліджень та державних випробувань ефективність нових знарядь для диференційованого відвального обробітку ґрунту, плуги ярусні до тракторів класів 0,9-3 та плуги-розпушувачі комбіновані до тракторів класів 3 та 5 включено в "Систему машин" (позиції P21.45, P21.55, P21.62, P21.61), на них розроблено та затверджено вихідні вимоги.

Плуги-луцильники для мілкої оранки включено до "Національної програми...", затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України N 536 від 16.09 92 року, в яку також увійшли плуги ярусні зі змінними робочими органами, плуги-розпушувачі комбіновані та оборотні плуги (Том. 2, стор. 270, позиції 3, 4, 2, відповідно).

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Механіко-технологічне обґрунтування системного вдосконалення засобів механізації оранки створює реальну науково-практичну основу переходу, особливо необхідного при інтенсифікації виробництва, від однотипного відвального обробітку ґрунту плугами загального призначення до диференційної оранки адаптованими до неї засобами механізації, об'єднаними в систему на принципах гарантованої функціональної відповідності її елементів умовам роботи, вимогам агротехніки та енергоощадності.

Реалізація цих наукових розробок, доведених до рівня конкретних пропозицій, за даними практики, сприяє підйому загальної культури обробітку ґрунту, скороченню (мінімалізації) щорічних обсягів оранки до 60...50% посівних площ України, в підсумку — забезпечує помітне підвищення ефективності вирощування с.-г. культур. Розроблені на підставі викладених

положень засоби механізації відвального обробітку ґрунту станом на початок 1996 року складають 15...20% діючого парку плугів.

2. Основою синтезованої диференційної системи засобів механізації оранки (ДСЗМО) виступає сімейство полицевих знарядь на базі перспективних технологічних типів плугів (ярусних, розпушувачів комбінованих, оборотних, лушчиликів) з урахуванням особливостей їх агрегування з тракторами класів 0,6-5. Використання ДСЗМО в умовах України дозволяє задовільнити механіко-технологічну доцільність вибіркового застосування 23 основних та 29 можливих варіантів оранки плугами нового сімейства з обґрунтованим їх вибором в залежності від вирощуваної с.-г. культури (з 10-ти найбільш поширених), ґрунтово-кліматичної зони (Полісся, Лісостеп, Степ), потужності родючого шару ґрунту (від 0,12 м) та кількості рослинних решток (до 100 ц/га) на поверхні поля перед оранкою.

Реалізація ДСЗМО здійснюється через організацію виробництва передбачених нею технічних засобів та включення її елементів у відповідні операційні технології (зокрема, таких с.-г. культур як цукрові буряки, кукурудза, соняшник, картопля та овочі).

3. З аналізу механіко-технологічних моделей глибокої (25...35см) оранки ярусними плугами та плугами-розпушувачами комбінованими встановлено функціональні залежності, що обумовлюють характер взаємозв'язків між конструктивно-технологічними параметрами робочих органів (a_c , b , Δb , B_A , c , Δh_2), елементів орних агрегатів ($b_{п6}$, B_R), показниками стану обробленого середовища (β) та режиму роботи (a_2 , h_p , H_2). Ці залежності становлять аналітичну основу при обґрунтуванні компоновальних схем робочих органів означених плугів.

4. Доведено, що раціональне використання ярусної оранки з утворенням півборозни, яке призводить до істотного покращення агротехнічних і енергетичних показників роботи орних агрегатів за рахунок зменшення поперечного зміщення центра опору плуга відносно повздовжньої осі трактора (кл.3) на 0,28...0,50м, можливе при забезпеченні рівностей поперечного зміщення (Δb) верхнього корпусу його робочій глибині (a_2) та ширини півборозни ($b_{п6}$) ширині колеса (b_R) трактора. За цих умов при фіксованому поперечному зміщенні ($\Delta b = \text{const}$) на якість виконання технологічного процесу впливають форма, обрис і параметри робочої поверхні верхнього корпусу, зокрема кут в плані (γ_{02}) та висота (a_1) розміщення над нижнім корпусом, а також режим роботи по швидкості (v_M) та глибині (a).

З одержаних емпіричних залежностей агротехнічних

показників ($h_{за}$, K_p , Γ_p , B) від конструктивно-технологічних параметрів (γ_{02} і a_1) верхнього корпусу (при $\Delta b = \text{const}$, $v_m = 2,0 \text{ м/с}$, $a = 31 \text{ см}$) за допомогою комплексного критерію якості оранки визначено оптимальні параметри $\gamma_{02} = 45^\circ$ і $a_1 = 17,5 \text{ см}$. Результати використано при проектуванні лемішно-полицевих поверхонь верхніх корпусів ярусних плугів, плугів-розпушувачів комбінованих та корпусів плугів-луцильників, що працюють в подібних умовах.

5. Обґрунтовано вдосконалені технологічні процеси ярусної оранки, лемішного лушення, оранки з поглибленням орного шару та визначено раціональні конструктивно-технологічні параметри розміщення робочих органів:

- ярусних плугів до колісних тракторів класів 3 і 5 (ширина захвату верхнього і нижнього корпусів $b_2 = b_1 = 40 \text{ см}$, поперечне зміщення верхнього корпусу відносно нижнього $\Delta b = 14 \text{ см}$, відстань між однойменними корпусами по ходу $l = 105 \text{ см}$, кут в плані верхнього та нижнього корпусів $\gamma_{02} = 45^\circ$, $\gamma_{01} = 42^\circ$, глибина робоча верхнього та нижнього корпусів $a_2 = 14 \text{ см}$, $a_1 = 15 \dots 21 \text{ см}$), до гусеничних тракторів класу 3 ($b_2 = b_1 = 43,5 \text{ см}$, $\Delta b = 10 \text{ см}$, $l = 995 \text{ см}$, $\gamma_{02} = 45^\circ$, $\gamma_{01} = 42^\circ$, $a_2 = 10 \dots 14 \text{ см}$, $a_1 = 15 \dots 25 \text{ см}$), до тракторів класів 0,6 - 1,4 ($b_2 = 20 \text{ см}$, $b_1 = 30 \text{ см}$, $\Delta b = 5 \text{ см}$, $l = 850 \text{ см}$, $\gamma_{02} = 45^\circ$, $\gamma_{01} = 39^\circ$, $a_2 = 12 \text{ см}$, $a_1 = 15 \dots 23 \text{ см}$);

- плугів-розпушувачів комбінованих до колісних тракторів класів 3, 5 ($b_2 = b_1 = a_c = 40 \text{ см}$, $l = 105 \text{ см}$, $\gamma_{02} = 45^\circ$, $\gamma_{01} = 90^\circ$, $a_2 = 12 \dots 22 \text{ см}$, $a_1 = 20 \dots 23 \text{ см}$, де b_1 — поперечна відстань між долотами розпушувачів, a_c — поперечна віддаль від польового обрізу корпусу до долота розпушувача), до гусеничних тракторів класу 3 ($b_2 = b_1 = a_c = 45 \text{ см}$, $l = 995 \text{ см}$, $\gamma_{02} = 45^\circ$, $\gamma_{01} = 90^\circ$, $a_2 = 12 \dots 22 \text{ см}$, $a_1 = 23 \text{ см}$);

- плугів-луцильників до тракторів класів 0,6 — 3 ($b = 30 \text{ см}$, $l = 850 \text{ см}$, $\gamma_0 = 39^\circ$, де b — ширина захвату корпусу з кутознімом, γ_0 — кут в плані цього корпусу).

6. Ефективним шляхом диференціації засобів механізації оранки (поряд з вибіркоким застосуванням однофункціональних знарядь) визнано впровадження змінних робочих органів, зокрема до ярусних плугів.

Експериментальним дослідженням різних типів, форм, обрисів та параметрів розроблених і серійних змінних робочих органів при виконанні ярусної оранки (ПНЯ.02/ПЧР.51 — варіант 1, ПНЯ.02/ПТК.21 - II, ПНЯ.02.0/ПТК.21 - III) та оранки з поглибленням шару ґрунту (ПНЯ.02/АСМ.03 - IV, ПНЯ.02/ПНЯ.51 - V, ПНЯ.02/ПНЯ.61 - VI) визначено, що:

- ярусна оранка (I-III) переважає оранку з поглибленням шару ґрунту (IV-VI) на 2...4% за ступенем та на 10,5...14,7 см за глибиною загортання рослинних решток;
- чиста і широка півборозна для проходу коліс трактора класу 3 забезпечується при реалізації варіанту III (з овальними верхніми корпусами ПНЯ.02.0);
- при ярусних схемах (I-III) найменший питомий тяговий опір створює плуг за варіантом II (71,8 КПа), а при полицево-плоскорізних схемах (IV-VI) — плуг за варіантом V (67,8 КПа);
- в цілому за агротехнічними та тягово-енергетичними показниками ярусну оранку доцільно виконувати за варіантом II , а оранку з поглибленням орного шару — за варіантом V;
- застосування змінних робочих органів на ярусних плугах розширює зону технологічного використання цих знарядь в 2 - 3 рази.

7. Оранка помітно впливає на енергомісткість с.-г. продукції (під окремі культури її частка в загальних витратах палива складає 10...30%). Аналізом схем агрегування плугів з тракторами різних типів і класів розкрито резерви енергоощадності. Концептуально окреслено, що диференціація орних агрегатів здійснюється, з одного боку — за рахунок обмеження і конкретизації зон застосування плугів різних типів з додатковим поділом в межах дії певних класів тракторів. А з іншого — шляхом обґрунтування раціональних компоновальних схем на принципах безумовного забезпечення стійкості руху агрегату в площині поля при найменшому можливому тяговому опорі плуга.

Розроблено методику та відповідні критерії (K_n та K_R) аналітичної оцінки схем агрегування. Зокрема, показник (K_R) приросту тягового опору характеризує його збільшення (зменшення) при несиметричному розміщенні центра опору плуга відносно вісі трактора. Показник K_R при сталих конструктивно-технологічних параметрах плуга і трактора залежить лише від поздовжньої (L_{Π}) й поперечної (e) координат центра опору плуга відносно миттєвого центра його обертання на тракторі та кута тертя (ϕ), що характеризує умови роботи. З відхиленням центра опору плуга вправо від поздовжньої вісі трактора (характерний випадок) показник приросту тягового опору (K_R) змінюється пропорційно e та ϕ і зворотно пропорційно L_{Π} . На цьому ґрунтується енергетична виправданість розробки широкозахватних плугів та оригінальних агрегатів, що дозволяють зменшити e , наприклад — з використанням півборозни для руху по ній правих коліс трактора.

В результаті аналізу залежності приросту тягового опору

(K_R) від поперечної координати центра опору плуга (e) та її порівнянням з аналітичною доведено, що розроблена механіко-математична модель адекватно описує досліджуване явище. Найбільша розбіжність результатів склала 5,7%.

8. Експериментальним порівнянням трьох основних схем агрегування ярусного плуга з трактором Т-150К, які передбачають рух правих коліс трактора по півборозні (схема 1), по полю (2) та по борозні (3), доведено, що найменший питомий тяговий опір плуга ($R_{\text{я}} = 66,1$ КПа) досягається при застосуванні схеми 1 ($a = 31...33$ см, $v_m = 2,0...2,2$ м/с), а при схемах 2 та 3 $R_{\text{я}}$ зростає відповідно на 7,7 та 9,5%. Використання схеми агрегування 1 в порівнянні зі схемою 3 призводить до зменшення поперечного нахилу трактора в робочому положенні з 8...10 до 3...4° та підвищення стійкості руху плуга по ширині захвату ($\sigma_{B1} = 2,8$ см < 3,7 см = σ_{B3}). Схема 2 не забезпечує достатньої стійкості ярусного плуга в площині поля ($\sigma_{B2} = 5,7$ см). Результати збігаються з даними аналітичних розрахунків.

9. На основі розробленої методики аналітичної оцінки визначено раціональні схеми агрегування:

- ярусних плугів та плугів-розпушувачів комбінованих з колісними тракторами класу 3, що передбачають рух правих коліс трактора по півборозні ($B_{\text{пб}} = 0,54$ м, $a_2 = 0,10...0,14$ м);
- ярусних плугів та плугів-розпушувачів комбінованих з гусеничними тракторами класу 3, при русі трактора по полю;
- плугів-луцильників з тракторами класу 3, що характеризуються рухом трактора по полю;
- плугів-луцильників з тракторами класів 0,6 — 1,4 при русі правих коліс трактора по борозні ($B_c = 0,20...0,30$ м, $a = 0,12...0,22$ м).

10. Експериментально встановлено, що:

- серед порівнюваних орних агрегатів по кінцевій вирівненості (σ_2) поверхні поля після ярусної оранки на 30...35 см та усадки ґрунту перевагу над серійним плугом ПЯ-3-35 мав новий плуг ПНЯ-4-40. При роботі на швидкості 2 м/с вирівняність σ_2 після останнього склала 1,26 см вздовж та 1,28 впоперек напрямку оранки, що на 30,7 та 33,2% вище за вихідну вирівняність поверхні поля перед оранкою;
- в порівнянні з оранкою плугами загального призначення (ПЛН-4-40, ПЛН-5-35), ярусна оранка (ПНЯ-4-40, ПЯ-3-35) дозволяє на 55,1...61,0% зменшити засміченість посівів бур'янами, на 6,4...9,3% підвищити врожайність цукрових буряків, на 10,7% — кукурудзи на силос;
- серед семи варіантів основного обробітку ґрунту (знаряддями ПЛН-5-35, ПНЯ-4-42, "Параплау" та плугами зі змінними

робочими органами ПНЯ.02/ПНЯ.61, ПНЯ.02/ПНЯ.31, ПНЯ.31, ПНЯ.61) перевагу має ярусна оранка плугом ПНЯ-4-42, що зумовлено кращим знищенням бур'янів (наприклад на 59,4% порівняно з ПЛН-5-35);

- при близьких показниках з врожайності озимого жита (29,2...32,0 ц/га) заорювання плугом ПНЯ-3-40 сидератів (гороху, донника) на 31,3...36,6% зменшує прямі витрати в порівнянні з заорюванням відповідної кількості органічних добрив;
- в порівнянні з плугами загального призначення (ПЛН-5-35) та ярусними серійними плугами (ПЯ-3-35) розроблені ярусні плуги типу ПНЯ забезпечують на 22,5 та 4,8% кращу повноту загортання грубостебельних решток, навіть коли вся листостеблова маса (до 10 т/га) залишена на поверхні поля. Розподіл цієї маси по глибині в обробленому шарі (0...25см) ґрунту після ярусного плуга має, порівняно з оранкою ПЛН, перевернутий вигляд (основна маса рослинних решток на 12..15см глибше), що на якісно вищому рівні забезпечує виконання функцій оранки в боротьбі з бур'янами, шкідниками і хворобами.

11. Розроблене під реалізацію ДСЗМО сімейство плугів дозволяє покращити якість оранки, тягово-енергетичні та експлуатаційно-технологічні показники роботи орних агрегатів. Ярусний плуг ПНЯ-4-40 та його модифікації в порівнянні з серійним плугом ПЯ-3-35 при оранці під культури II технологічної групи на 25...35 см знижує питомі показники тягового опору плуга та енергомісткості оранки на 0,7...17,8% та 9,4...31,6%, підвищує продуктивність роботи на 27,6...33,0%, скорочує кількість проходів його по полю в 1,52 рази. При близьких значеннях агротехнічних показників плуги-луцильники ПЛН та ПЛ з шириною захвату корпусу 20 та 30 см забезпечують в порівнянні з серійними плугами — аналогами підвищення продуктивності на 13-25% та 48-50%, відповідно. Плуги-розпушувачі комбіновані типу ПРК за один прохід виконують роботу, яку в господарських умовах здійснюють послідовно двома агрегатами (ПЛН-5-35 та АЧП-2,5), тому питомі прямі витрати скорочуються на 30-32%, а витрати палива на 21,7...33,3%. Оборотний плуг ПНО-5-40 порівняно з плугом-аналогом фірми "Kverneland" скорочує витрати палива на 5,1...9,4%, збільшує продуктивність на 16,3...20,3%.

Підтверджений річний економічний ефект від впровадження нових засобів механізації оранки складає в цінах 1990 року 7,4 млн. крб.

СПИСОК

опублікованих наукових праць по темі дисертації

1. Дубровін В.О. Основи диференціації засобів механізації оранки (Монографія).— Чернівці-Київ: НАУ,1996. — 64с.
2. Нагорний М.Н., Дубровін В.О. Лемішні плуги //Механізація сільського господарства. - 1984. - №11. - С. 19.
3. Циков В.С., Масло И.П., Дубровин В.А. и др. Методические рекомендации по применению и регулировке ярусного плуга ПНЯ-4-40. - Днепропетровск: ВНИИК, 1987. - 14 с.
4. Дубровін В.О. Раціональна схема агрегування двох'ярусного плуга як економічний засіб поліпшення системи обробки ґрунту під цукрові буряки //Вісник сільськогосподарської науки. - 1986. - №1. - С. 15-19.
5. Дубровін В.О., Шквиря А.С., Бабченко Л.П. До обґрунтування параметрів польової дошки двох'ярусного плуга // Вісник сільськогосподарської науки. - 1986. - № 5. - С. 71-73.
6. Дубровин В.А. Обоснование параметров рабочего процесса двухъярусной вспашки почвы с образованием полуборозды //Механизация и электрификация сельского хозяйства. - К.: Урожай, 1986. - Вып. 64. - С. 15-19.
7. Дубровін В.О. Про вибір місця встановлення корпусу верхнього яруса на двох'ярусному плузі //Вісник сільськогосподарської науки. - 1987. - № 4. - С. 73-75.
8. Левчук Н.С., Нагорный Н.Н., Дубровин В.А. Улучшение качества работы двухъярусного плуга //Техника в сельском хозяйстве. - 1989. - № 2. - С. 49-50.
9. Дубровин В.А., Гуков Я.С., Серый В.А. Новые почвообрабатывающие орудия // Земледелие. - 1990. - № 7. - С. 75-77, 81-82.
10. Дубровін В.О. Випускається ярусний плуг //АПК: Наука, техніка, практика. - 1990. - № 7. - С. 12-13.
11. Дубровин В.А., Милоткин В.А., Афонин А.Е. и др. Ярусная обработка почвы //Земледелие. - 1990. - № 11. - с. 50-55.
12. Левчук М.С., Дубровін В.О., Бабченко Л.П. Чим загортати гербіциди //Механізація сільського господарства. - 1983. - №4. - С.18.
13. Нагорний М.Н., Левчук М.С., Дубровін В.О. та інш. Вирівнювачі ґрунту //Механізація сільського господарства. - 1983. - №2. - С. 12-13.
14. Забаштанський С.А., Нагорний М.Н., Дубровін В.О. та інш. Для двох'ярусної оранки //Механізація сільського господарства. - 1983. - №10. - С. 12-13.

15. Нагорный М.Н., Дубровин В.О. Начіпний ярусний плуг // Механізація сільського господарства. - 1985. - №1. - С. 14-15.
16. Дубровин В.А. Приспособление для регулировки корпусов лемешных плугов // Информационный листок. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ, 1985. - №12. - 8 с.
17. Доля И.Я., Дубровин В.А. Плуг общего назначения для агрегатирования с колесным трактором // Информационный листок. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ, 1985. - №100. - 4с.
18. Нагорный Н.Н., Дубровин В.А., Левчук Н.С. и др. Плуг для ярусной вспашки почвы // Перечень рационализаторских предложений и прогрессивных технологических решений, рекомендованных для внедрения в сельскохозяйственное производство. - К.: ЮО ВАСХНИЛ, 1985. - С. 5-6.
19. Дубровин В.О. Схеми агрегативання плуга // Механізація сільського господарства. - 1986. - 1. - С. 12-13.
20. Забаштанский С.А., Дубровин В.А., Нагорный Н.Н. и др. Новый двухъярусный плуг ПНЯ-4-40 // Техника в сельском хозяйстве. - 1986. - № 3. - С. 27-28.
21. Дубровин В.А., Шквира А.С., Нагорный Н.Н. и др. Двухъярусная вспашка почвы под сахарную свеклу. - Белая Церковь.: Гортипография, 1986. - 4 с.
22. Дубровин В.А., Бабченко Л.П., Нагорный Н.Н. и др. Ярусный плуг // Перечень рационализаторских предложений и прогрессивных технологических решений, рекомендованных для внедрения в сельскохозяйственное производство. - К.: ЮО ВАСХНИЛ, 1986. - С. 8-9.
23. Нагорный Н.Н., Дубровин В.А. Плуг навесной ярусный ПНЯ-4-40 к трактору Т-150К. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ, 1987. - 14 с.
24. Дубровин В.А. Двухъярусная вспашка. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ, 1988. - 1 л.
25. Дубровин В.А., Бабченко Л.П., Тищенко С.С. и др. Плуг ПНЯ-4-42 с овальными корпусами верхнего яруса // Информационный листок. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ, 1988. - № 87. - 4 с.
26. Дубровин В.А. Рекомендации по применению сменных рабочих органов к ярусным плугам семейства ПНЯ. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ, 1989. - 2 л.
27. Клюенко В.И., Балан В.П., Дубровин В.А. и др. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин дуговой точечной наплавкой. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ, 1989. - 1 л.
28. Дубровин В.А., Арутин В.В., Милюткин В.А. и др. Осна-

щение ярусных плугов семейства ПНЯ корпусами с углоснимами // Информационный листок. - К.: Киевское отделение УкрНИИТИ. 1990. - № 30. - 6 с.

29. Дубровин В.А. Перспективы ярусной вспашки (рекомендации по применению новых орудий и технологий обработки почвы. - К.: Киевский центр ИМЭКС, 1990. - 1 л.

30. Дубровин В.А., Арутин В.В. Плуг навесной ярусный ПНЯ-4-42. - К.: Облполиграфиздат, 1990. - 6 с.

31. Дубровин В.А., Афонин А.Е., Арутин В.В. Сменные рабочие органы к ярусным плугам. - К.: Облполиграфиздат, 1990.-4 с.

32. Ключенко В.Н., Олисеенко В.И., Дубровин В.А. и др. Дуговая точечная наплавка рабочих органов почвообрабатывающих орудий. - К.: Облполиграфиздат, 1990. - 6 с.

33. Масло И.П., Дубровин В.О., Нагорный М.Н. та інші. Нові плуги для ярусного обробітку ґрунту ПНЯ-4-42, ПНЯ-4-42-01, ПНЯ-6-42. - К.: Республіканський центр виставок і ярмарків, 1991. - 4 с.

34. Скоробогатов В.В., Дубограй О.Г., Дубровин В.О. та інші. Новий плуг ПЛН-3-20. - К.: "Прес-графіка", 1992. - 2 с.

35. Двояковский А.А., Дубровин В.А. Плуги Одесского завода сельскохозяйственного машиностроения. - К.: Республіканський центр виставок і ярмарок, 1992. - 24 с.

36. А.с. № 1064878 СССР. Почвообрабатывающее орудие /Нагорный Н.Н., Бабченко Л.П., Дубровин В.А. и др. //Открытия. Изобретения. - 1984. - №1. - С. 3.

37. А.с. № 1090272 СССР. Плуг для ярусной вспашки почвы /Нагорный Н.Н., Дубровин В.А., Левчук Н.С. и др. //Открытия. Изобретения. - 1984. - № 17. - С. 3.

38. А.с. № 1165244 СССР. Ярусный плуг /Дубровин В.А., Бабченко О.П., Нагорный Н.Н. и др.// Открытия. Изобретения. - 1985. - № 25. - С. 3.

39. А.с. № 1172459 СССР. Плуг для ярусной вспашки почвы /Дубровин В.А., Бабченко О.П., Нагорный Н.Н. и др. //Открытия. Изобретения. - 1985. - № 30. -С.3.

40. А.с. № 1396978 СССР. Сельскохозяйственный агрегат /Шквира А.С., Масло И.П., Дубровин В.А. и др. //Открытия. Изобретения. - 1988. - № 19. - С. 3.

41. А.с. № 1407413 СССР. Многокорпусный плуг для ярусной вспашки почвы. /Шквира А.С., Масло И.П., Дубровин В.А. и др. // Открытия. Изобретения. - 1988. - № 25. - С. 3.

42. А.с. № 1454275 СССР. Способ глубокой вспашки почвы на склонах./Шквира А.С., Дубровин В.А., Литвинюк Л.К. и др. // Открытия. Изобретения. - 1989. - № 4. - С. 4.

43. А.с. № 1473725 СССР. Двухярусный плуг / Дубровин В.А., Шквира А.С., Нагорный Н.Н. и др. //Открытия. Изобретения. - 1989. - № 15. - С. 4.

44. А.с. № 1583005 СССР. Устройство для сельскохозяйственного агрегата /Шквира А.С., Масло И.П., Дубровин В.А. и др. //Открытия.Изобретения.-1990.-№29.- С. 4.

45. А.с. СССР. Плуг /Афонин А.Е., Бурченко П.Н., Дубровин В.А. и др. //По заявке № 4765373/15, заявлено 14.12.89.

46. А.с. СССР. Корпус плуга /Афонин А.Е., Панов И.М., Дубровин В.А. и др. //По заявке № 4794190/15, заявлено 02.03.90.

47. А.с. № 1662365 СССР. Плуг /Прокопцев Л.П., Прокопцев П.И., Дубровин В.А. и др. //Открытия. Изобретения. - 1991. - № 26. - С. 4.

48. Патент № 2025914. Российской Федерации. Корпус плуга /Тищенко С.С., Дубровин В.А., Беляев Н.Н. // Открытия. Изобретения. - 1995. - № 1. - С. 3.

49. Патент № 2025915. Российской Федерации. Корпус отвального типа почвообрабатывающего орудия /Тищенко С.С., Дубровин В.А., Калинин В.Я. //Открытия. Изобретения. - 1995. - № 1. - С. 3.

50. Патент України. Плуг / Дубровін В.О., Горобець Р.В., Бабченко Л.П., та інші. //По заявці № 93006547, заявлено 16.07.93

Дубровин В.А. Механико-технологическое обоснование дифференциации средств механизации вспашки. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.01 — механизация сельскохозяйственного производства, Институт механизации и электрификации сельского хозяйства Украинской академии аграрных наук, Глеваха, 1997.

Защищаются механико-технологические основы дифференциации средств механизации вспашки. Они содержат результаты теоретических и экспериментальных исследований перспективных технологических процессов отвальной обработки почвы, обосновывают рациональные параметры плугов и пахотных агрегатов, предлагаются методы их оценки. Разработанное семейство плугов (ярусных, луцильников, рыхлителей комбинированных и оборотных) позволяет полнее удовлетворять требования и учитывать условия вспашки на Украине. Приведены данные об эффективности результатов.

Dubrovin V. A. Substantiation of moldboard plows differentiation. Manuscript.

Thesis for scientific degree of Doctor of technical sciences on speciality of 05.20.01 - Mechanization of farming; Farm Mechanization and Electrification Institute, Glevaha, 1997.

Under defence is dissertation containing mechanical and technology bases of moldboard tillage differentiation, basic results of theoretical and experimental research on prospective technology processes of moldboard tillage. Conducted researche allowed to substitute of rational parameters of plows and tillage units and propose effective methods of their testing. New plows complex (for deep and shallow tillage) permitted to realize the demands and to take into account tillage conditions in Ukraine. The paper under consideration contains the efficiency of research results.

Ключові слова: механіко-технологічне обґрунтування, оранка, технологічний процес, методика аналітичної оцінки, силовий аналіз, диференціація, система засобів механізації, плуг, орний агрегат.

Тираж 100 прим. 17.12.96р.

*Пабліш-центр Національного аграрного університету
252041, м.Київ, вул.Героїв Оборони, 15, к. 70.*

тел. 2678741

fax. +380 44 2631327

E-mail: postmaster@usau.kiev.ua