

**В.І. Корабельський, проф., д-р техн. наук, А.В. Спірін, доц., канд. техн. наук,  
І.М. Ковальова, асп.**

*Вінницький державний аграрний університет*

## Особливості проектування ґрунтообробної техніки з урахуванням агротехнологічних і екологічних вимог

В статті подано теоретичні дослідження, які є основою системи геометричного проектування робочих органів ґрунтообробних машин. Обґрунтовується актуальність проблеми розробки криволінійних розпушувачів для якісної обробки ґрунту з метою максимального використання його біологічної активності.

**робочий орган, паркетний каркас, деформація ґрунту**

**Постановка проблеми.** Вирішення задач розробки і впровадження новітніх досягнень науки і техніки в практиці сільськогосподарського машинобудування і виробництва можливе лише при застосуванні новітньої техніки, яка дозволяє не тільки полегшити обробку ґрунту і збільшити продуктивність праці, але й забезпечити високу якість при виконанні всіх технологічних процесів.

Підвищенню врожайності сприятиме вибіркоче застосування різних знарядь в конкретних кліматичних і ґрунтових умовах. Завдання створення нових ґрунтообробних знарядь передбачає, передусім, пошук нових органів, які безпосередньо виконують той чи інший технологічний процес, оскільки робочі органи найчастіше визначають конструктивну схему усієї машини.

В сучасному сільськогосподарському машинобудуванні проводяться роботи, направлені на вирішення поставлених задач. Серед них важливе місце займають теоретичні дослідження технологічних процесів, які здійснюються робочими органами ґрунтообробних знарядь, оскільки від степені відповідності поверхонь впливу їх призначенню залежить якість роботи пристрою в цілому, його продуктивність і енергоємність.

**Постановка завдання.** Встановлення найбільш раціональних форм і параметрів поверхонь робочих органів, знаходження оптимальних технологічних процесів їх роботи.

**Основна частина.** Зростаюча потужність тракторного парку висуває свої умови до проектування: нові ґрунтообробні машини по своїй енергоємності і ширині захвату повинні відповідати завантаженню високопотужних двигунів. Оскільки значне збільшення ширини захвату агрегатів утруднене в зв'язку з різноманітністю рельєфу полів, актуальним напрямком в плані підвищення продуктивності залишається розробка машин, які забезпечують якісне виконання ґрунтообробних операцій на підвищених швидкостях.

Важливою проблемою сільськогосподарського виробництва є якісна обробка ґрунту з метою максимального використання його біологічної активності. Домогтися високої функціональності робочих органів при широкому діапазоні ґрунтових зон можна не тільки багатоманітністю їх варіантів з наступним вибором найкращого зразка, але й вивченням процесу пошуку оптимального рішення при конструюванні поверхні робочого органу.

процесу, що в основному обумовлює експериментальну методику вибору виду поверхонь.

Нажаль досі відсутня методика проектування поверхонь робочих органів з урахуванням наперед заданих умов переміщення і деформації ґрунтового шару. Нові форми робочих органів отримують експериментальним підбором на основі багаточисельних випробувань дослідних зразків. Існуючі методи проектування дають можливість геометрично інтерпретувати експериментально вибрану поверхню, виконати її точну побудову. Однак пошук нових форм такими методами не передбачений. Поява в практиці землеробства різноманітних робочих органів відповідно викликає появу методів, які описують конкретні геометричні поверхні. Незначна кількість досліджень мають в своїх графоаналітичних апаратах побудови поверхонь елементи агротехнічних і технологічних вимог, закладених в алгоритми отримання поверхні в аналітичному або графічному вигляді [2, 3]. Однак широкого розповсюдження ці методи поки що не набули через їх відносну складність і значну трудомісткість.

В зв'язку з цим виникає необхідність розробки простих і ефективних методів проектування робочих органів, які б задовольняли вимогам по переміщенню і деформації ґрунту як основним технологічним показникам обробки. Оскільки ведення теоретичних досліджень по пошуку форми поверхні в аналітичному виді потребує переадавання отриманих результатів у вигляді креслення, то моделювання технологічних процесів краще вести саме в геометричному вигляді, виражаючи загальні вимоги об'ємними моделями напрямків впливу: до пересування шарів – траєкторними характеристиками, а до деформування шару – у вигляді векторних епюр тиску.

Подальшому розвитку цього напрямку сприяє новий підхід до процесу моделювання заданих вимог і створення на його основі методів конструювання поверхонь. Процес моделювання пропонується вести з використанням геометричної взаємодії різноманітно орієнтованих в просторі елементарних відсіків площин (паркетів) з ґрунтовим середовищем. Таке моделювання дозволяє виконувати побудову поверхні паркетним каркасом, відповідним набору заданих напрямків.

Розробка методики проектування по основних агротехнологічних вимогах дозволяє вирішувати наступні завдання:

- підвищення продуктивності конструювання сімейства поверхонь, геометрично пов'язаних з заданими умовами (наприклад, переміщення, деформація шару тощо);
- теоретичне обґрунтування і проектування принципово нових різновидів робочих органів;
- інтенсифікація процесів обробки ґрунту за допомогою органів, поверхні яких володіють значною технологічною ефективністю.

Найбільш характерним і зручним для математичної формалізації суті процесу обробки ґрунту можна вважати напрямок переміщення окремих елементів ґрунтового шару [4]. Такий підхід до моделювання використовується як для оранки ґрунту з оборотом шару, так і для інших видів впливу на ґрунт, які не викликають значної довжини її переміщення (наприклад, різні види рихлення).

Таким чином, розроблюваний апарат побудови поверхонь повинен в свій алгоритм включати дві основних вимоги: переміщення ґрунту і його деформацію. В зв'язку з неоднорідністю ґрунтового середовища виконати цілим таким геометричний апарат складно, тому конструювання необхідно проводити диференційовано, попередньо досліджуючи можливості моделювання переміщення ґрунту, а потім – його деформації. При цьому необхідно враховувати, що існує чіткий взаємозв'язок між характером переміщень в шарі і комплексом деформацій, які виникають при цьому.

Одна з основних вимог – переміщення шару доцільно моделювати, виходячи з наявних в землеробній механіці законів реології ґрунту під впливом двогранного і

тригранного клинів (фронтально-проектуючої і площини загального положення відповідно). За основу графоаналітичного зв'язку між поверхнею робочого органу і процесом переміщення ґрунту взятий метод траєкторного аналізу роботи як плоских, так і криволінійних поверхонь [1, 2].

Взаємозв'язок між кутковими параметрами орієнтації робочої площини в просторі і параметрами траєкторії переміщення елементарних часток ґрунту під впливом її є однією з постановочних умов для розробки математичної моделі залежності форми поверхні від виду технологічного процесу. При цьому для аналізу переміщення шару поверхні комплексно використані траєкторні характеристики руху часток шару як у відносній, так і в абсолютній системах відліку, що дозволило розробити принципово новий метод конструювання.

Раніше траєкторний аналіз лемішно-відвальних поверхонь вівся диференційовано [3, 6], оскільки в комплексному абсолютно-відносному аналізі не виникало потреби. При новому моделюванні використані дослідження по визначенню відносних траєкторій для різноманітних поверхонь впливу, починаючи з площинних, потім – криволінійних закономірних і завершуючи складними поверхнями технічних форм, незакономірних по своєму аналітичному визначенню. У випадку необхідного визначення виду рівняння таких форм незакономірні поверхні можуть бути апроксимовані наближеними по формі закономірними поверхнями за наявними в прикладній геометрії методами апроксимації [4].

Оскільки дослідження проводяться в геометричному вигляді, взаємозв'язки між відносною і абсолютною траєкторією переміщення часток ґрунту також конкретизуються в графічному вигляді. Відносна траєкторія фактично є слідом, який прокреслюється окремими частками ґрунту на поверхні, а траєкторія в абсолютній системі відліку наочно показує характер переміщення часток ґрунту в просторі. Об'ємні графічне і макетне відтворення траєкторних характеристик дозволяють вести цілий комплекс досліджень, пов'язаних з геометричним моделюванням конкретних технологічних процесів ґрунтообробки за допомогою абсолютних траєкторій. Причому, побудовані по цим моделям поверхні впливу можуть легко коригуватися як за рахунок зміни форми абсолютних траєкторій (відповідно вимогам агротехніки на конкретних ґрунтах і для певних культур), так і за рахунок ускладнення моделі при доповненні до основного завдання інших, менш важливих, ніж переміщення і деформація, вимог (наприклад, специфіка роботи на щільних ґрунтах або на підвищених швидкостях).

Основні технологічні вимоги до обробки ґрунту, крім його переміщення, включають ще й питання деформування, розпушення моноліту. Оскільки процес створення раціонального рихлення ґрунту з метою максимального використання його біологічної активності є досить складним, він досліджується і моделюється окремо. Особливий інтерес до формалізації напружених станів в ґрунті з'являється при розробці знарядь, які виконують суто деформаційні процеси: розпушувачів, глибокорозпушувачів, плоскорізів, культиваторів та ін.

Акцентування уваги на технологічних умовах, пов'язаних з деформацією шару, накладає на проектування таких органів свою специфіку. Процеси, які ними виконуються, при значній розпушувальній здатності, повинні проходити без великих енергетичних витрат. При цьому загальний енергопотенціал, який планується по завданню на розпушування моноліту, повинен бути використаний на корисні дії. Плоскі органи, концентруючи велике зусилля в окремих зонах (наприклад, на носку або кромці різання), можуть зменшити живильні якості ґрунту, руйнуючи найбільш біологічно активну мілкогрудкову структуру.

В зв'язку з цим виникає головна вимога до форми проектуємих деформаторів – рівномірний розподіл тисків по всій зоні впливу за рахунок визначення знаку і параметрів кривизни [5]. Питання дослідження якісної сторони деформації досить актуальне, оскільки його важко вирішити і перевірити експериментально. Наслідки неправильної обробки ґрунту даються взнаки через декілька років, коли при дуже

несприятливих кліматичних умовах зруйнований ґрунт може частково ерозіюватися, оголюючи при цьому збіднений нижній шар.

В зв'язку з цим продовжує залишатися актуальною проблема розробки криволінійних розпушувачів, які виконували б за рахунок зміни напрямку впливу свої функції по створенню раціонального складу ґрунту, його аерації, вологоакумуляційних якостей при умові збереження біологічної структури по всій глибині обробки. Як показують дослідження, руйнація дрібногрудкової структури до пиловидного стану відбувається в зонах найбільшого сплеску епюр нормальних тисків ґрунтів на плоский орган. Очевидно, що максимальні за висотою і площею сплески епюр припадають на особливо круті ділянки поверхні, орієнтовані по розташуванню поблизу до моноліту, де опір незруйнованого шару максимальний (носок розпушувача, нижня кромка лемеху тощо). Використання геометричних інтерпретацій таких зв'язків дає можливість керувати величиною і розташуванням зони впливу з метою її оптимізації. Загальний принцип розробки поверхонь при цьому залишається попереднім: першочергово проводимо широкий графічний аналіз виконання деформації органів різної форми за допомогою визначення епюр тиску на ґрунт. Експериментальні дані по складанню форми лінії векторів тиску і параметрами робочого органа ( у випадку площинного розглядання одного параметру – кута між робочою і горизонтальною площинами) стає вихідним матеріалом для створення графоаналітичної моделі такого зв'язку [4, 5]. При цьому будемо вважати просторову зону дії нормальних векторів від тієї чи іншої форми поверхні деформатора геометричною моделлю деформації. Набір даних по різних геометричних формах деформаторів дає змогу визначити зв'язок між видом поверхонь, їх параметрами – з одного боку, і кількісним і якісним станами деформації – з іншого. Останнє виражене об'ємом (кількісний показник) і формою (якість розпушення) геометричної фігури, розташованої між поверхнею впливу і поверхнею, яка визначається кінцями векторів тиску.

Суть векторного конструювання поверхонь впливу, аналогічна до траєкторної, засновується не на прямому алгоритмі зв'язку між формою поверхні і видом геометричної фігури, утвореної полем векторів, а на зворотному. Маючи дані по параметрах зони розпушування, фізико-механічних властивостях ґрунту, можна вести геометричну розробку вказаної фігури з метою усунення високоінтенсивних зон, збільшуючи деформацію в зонах шару, де зміна напруг ефективна і не викликає появи ознак руйнування структури.

Траєкторне і векторне моделювання умов з наступним отриманням поверхонь може застосовуватися для органів з характерними вимогами (наприклад, траєкторне – для накривача, підкопуючих і подаючих пристроїв та ін., а векторне – для дренажувачів, глибокорозпушувачів, чизелів). Деякі пристрої можуть розроблятися з використанням обох способів (каркасне паркетування), оскільки вони проектуються для виконання комплексу вимог, які включають і деформацію і переміщення (скоби для викопування саджанців, лемеші, пристрої для розпушування щільних ґрунтів тощо).

Геометричне формоутворення застосовується при отриманні пристроїв з однохарактерною дією, яка задається однією моделлю (розпушувачі, підкопуючі органи, укривачі), а також для машин, що здійснюють цілий комплекс дій, що потребує побудови об'ємної моделі (скоби, лемеші тощо). В деяких випадках суміжні поверхні самостійно працювати не можуть, оскільки одна з них підготовлює умови для наступної. Так, наральник на лемеші ССТ-12А стискає ґрунт, перетворюючи його в демпфер при заземленні насіння; скоба ПРВМ-15000 спочатку звертає шар, а потім його розломлює знакозмінною дією, вивільняючи тим самим велику кількість внутрішніх зв'язків; розпушувач ПРН-31000 гвинтовидно та постадійно обтискає вирізаний шар [4, 5].

В ряді випадків вплив ваги ґрунту, який є в процесі руйнування шару істотним фактором, блокувався і підсилювався спеціальними пристроями (котки-бітери при підкопуванні коренеплодів в КС-6Б-06, бокові вушка в скобах ПРВМ) [4].

Для вказаних прикладів використовується більш загальний випадок формоутворення – організація паркетного каркасу поверхні. Якщо в траєкторному і

векторному методах поверхня визначається за допомогою лінійного каркасу, то для операцій, які складаються з цілого комплексу впливів, запропонований новий спосіб побудови поверхні. При цьому поверхня графічно і макетно виконується з елементарних відсіків площин (паркетів), розміри і орієнтація яких залежить від характеру їх впливу на окремі частини шару. Реологічні характеристики таких відсіків беруться або з результатів досліджень для дво- і тригранних клинів, або з геометрично схожих ділянок поверхні існуючих органів.

**Перспективи подальших наукових розвідок у даному напрямку.** Необхідно макетувати у зменшеному виді поверхню, отриману в результаті теоретичного прогнозу, здійснити її випробування в ґрунтовому каналі, скоригувати її параметри, виготовити в натуральну величину і провести весь комплекс польових випробувань.

**Висновок.** Розглянуті теоретичні дослідження, відрізняючись принциповою новизною, є основою запропонованої системи геометричного проектування робочих органів ґрунтообробних машин.

Головна частина цієї системи, яка полягає в теоретичній організації елементів поверхні по заданих моделях вимог, доповнюється рядом етапів, розроблених в галузях, які широко використовують криволінійні форми. Ці етапи, які визначаються специфікою відтворення виготовлення криволінійних деталей, при проектуванні сільськогосподарської техніки володіють своєрідністю, оскільки залежать від фізико-механічних властивостей неоднорідних ґрунтів.

## Список літератури

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений. – Т.2. – М.: Колос, 1968. – 196 с.
2. Гячев Л.В. Теория лемешно-отвальных поверхностей. – Зерноград, 1961. – 98 с.
3. Желиговский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин механической технологии сельскохозяйственных материалов. – Тбилиси: Изд-во Груз. с.-х. ин-та, 1961. – 87 с.
4. Корабельский В.И. Обоснование форм и параметров почвообрабатывающих органов с помощью геометрического моделирования основных технологических требований: Дис... докт. техн. наук – Челябинск, 1988.
5. Павлоцкий А.С. Конструирование поверхностей рабочих органов почвообрабатывающих орудий по наперёд заданным условиям деформации почвенного пласта: Дис... канд. техн. наук. – К., 1974.
6. Панов И.М. Теория и расчёт почвообрабатывающих машин / Панов И.М., Синеоков Г.Н. – М.: Машиностроение, 1977. – 78 с.

*В.Корабельский, А. Спирин, И. Ковальова*

### **Особенности проектирования почвообрабатывающей техники с учетом агротехнологических и экологических требований**

В статье даны теоретические исследования, которые являются основой системы геометрического проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин. Обосновывается актуальность проблемы разработки криволинейных рыхлителей для качественной обработки почвы с целью максимального использования её биологической активности.

*В. Korabelskiy, A. Spirin, I. Kovalova*

### **Features of planning of tillage technique taking into account agrotechnological and ecological requirements**

Theoretical investigation, which is the base for system of tillage machine's geometrical design it is described in this article. Urgency of the problem of curvilinear threshing machines' designing for qualitative tillage for the purpose of maximal using soil's biological activity is argued in this article.