

Проектування глибокорозпушувачів з урахуванням деяких аспектів деформування ґрунту

В статті описаний приклад проектування деяких параметрів глибокорозпушувачів на основі аналізу та моделювання деформації ґрунту з урахуванням його властивостей, зокрема, різниці міцності ґрунту на стиск та розтягування. Наведений приклад реалізації теоретичних висновків у конструкції розпушувача типу «ПРН».

глибокорозпушувач ґрунту, проектування, енергомісткість, деформування ґрунту, властивості ґрунту

Проблема збереження енергії та ресурсів в аграрному виробництві на цей час набула особливу актуальність. Одним з елементів енергозберігаючих технологій вирощування сільгоспкультур є обробіток ґрунту різними безполицевими знаряддями. Одночасно у традиційних технологіях широко застосовується глибоке розпушення ґрунту. В технологіях «нульового обробітку» необхідний перехідний період коли використовуються глибокорозпушувачі ґрунту. У зв'язку з цим актуальні розвиток та вдосконалення теоретичних методів обґрунтування форм і параметрів безполицевих робочих органів з метою створення більш досконалих знарядь для ґрунтообробки, а також узагальнення наявного досвіду.

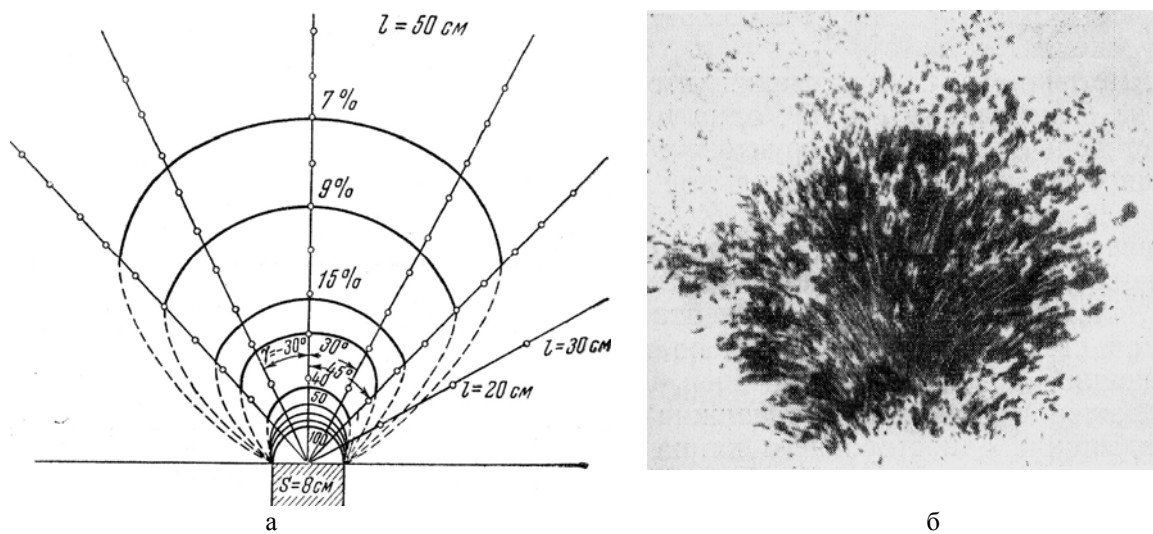
Обґрунтування форм і параметрів робочих органів можливо здійснити щонайменше двома шляхами. Перший – оптимізація параметрів заздалегідь обраної форми знаряддя за критеріями енергомісткості процесу, якості розпушування шару та іншим критерієм. Інший шлях – побудова форми й визначення параметрів знаряддя, виходячи з раціональної деформації шару з урахуванням характерних властивостей ґрунту й показників стану шару ґрунту. Другий шлях представляється нам більш перспективним. Необхідно відзначити, що по зауваженню В.П.Горячкіна раціональний спосіб утворення форм знарядь «...можна виробити тільки на підставі технологічних міркувань про деформацію шару ґрунту» [1]. Наявний теоретичний і практичний досвід показав плідність такого підходу [2,3].

Завдання полягає у знаходженні відповідності між напружено деформованим станом ґрунту й формою деформатора, і побудова форми розпушувача, виходячи з найменш енергоємного механізму деформації шару ґрунту. Необхідно відмітити, що напружено деформований стан ґрунту з одного боку визначається властивостями ґрунту, з іншого – дією деформатора певної форми.

Відмітною особливістю ґрунту як матеріалу є різна міцність при деформації розтягнення й деформації стиску. За даними різних експериментальних досліджень межа міцності на стиск перевершує межу міцності на розтягнення в 5–20 разів. Межа міцності на зрушення займає проміжне значення. Очевидне зниження витрат енергії при розпушуванні ґрунту розтягненням. Основу ґрунтообробних робочих органів становить клин різної форми. За усталеною думкою, клиноподібні робочі органи викликають у ґрунті в основному деформацію стиску. На нашу думку, повністю уникнути деформації стиску при роботі клина неможливо. Однак, застосуванням

відповідної форми деформатора, можливо змінити баланс сил і деформацій у бік менш енергоємного розтягнення із зсувом. Наприклад, академік В.П. Горячкін елемент обґрунтування параметра відвала плуга будував на балансі деформацій стиску й розтягнення шару з урахуванням різної міцності ґрунту при цих деформаціях [1].

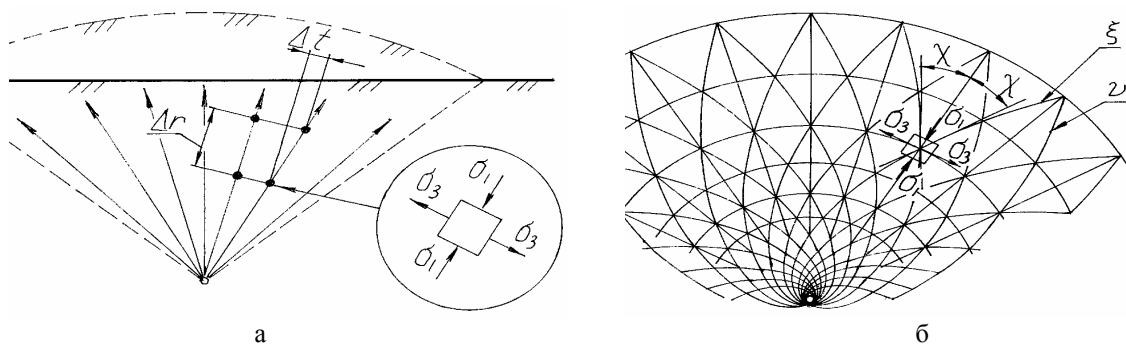
У ґрунті перед будь-яким деформатором формується складний деформовано напружений стан. Зафіксувати цей стан можливо, наприклад, виміром тиску в різних точках і побудовою поля тиску. За даними Зеленіна [4] та інших дослідників ізобари поля тиску в ґрунті перед деформатором мають вигляд концентричних кривих (рис.1,а). Лінії ізобар тиску в ґрунті, по суті, це траєкторії максимальних стискаючих напруг. Траєкторії руху часток ґрунту при цьому мають вигляд розбіжних ліній (рис. 1,б).



а – форма ізобар тиску в ґрунті; б – форма траєкторій руху часток ґрунту

Рисунок 1 – Вид явищ у ґрунті перед деформатором (по Зеленіну)

Рух часток у розбіжних напрямках супроводжується розтяганням у напрямках перпендикулярним траєкторіям розбіжності часток. Модель розбіжності часток у радіальних напрямках представлена на рис. 2,а. При цьому переміщення на довжину Δr супроводжується розтяганням на довжину Δt . Модель орієнтації максимальних σ_1 і мінімальних σ_3 головних напруг показана на рис.2,б. У даному розгляді форма ізобари й, відповідно, форма орієнтації максимальних головних напруг моделюється формою дуг кіл. Реально ізобари мають більш складну форму.

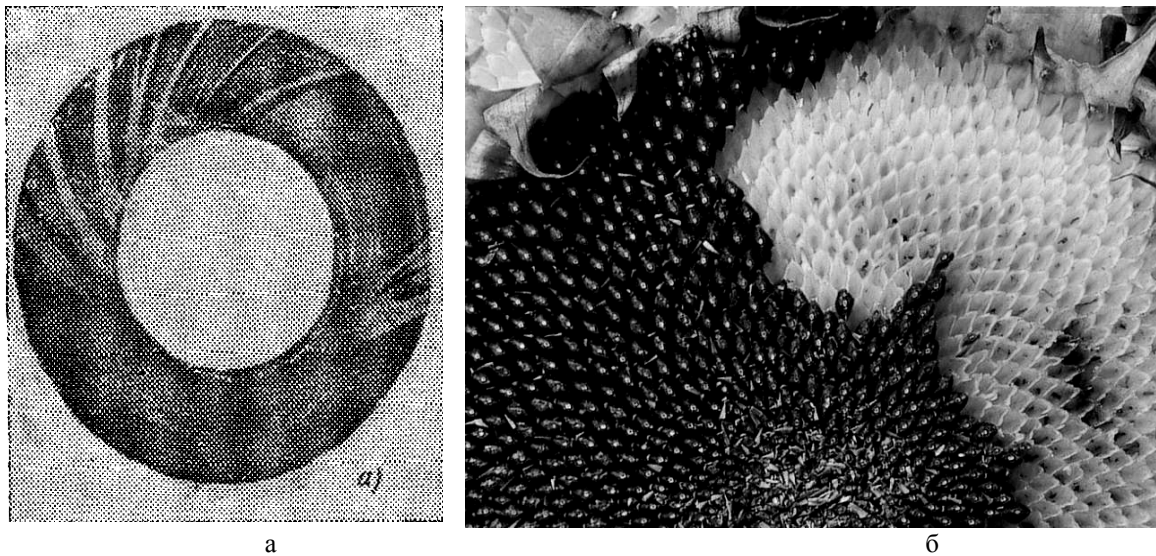


а – радіально розбіжним рухом часток; б – зрушенням, з утворенням системи ліній зрушень у ґрунті

Рисунок 2 – Моделі деформації шару ґрунту

Відповідно до теорії Кулона-Мора, руйнування елементарного об'єму з утворенням ліній зрушень відбувається при граничному співвідношенні максимальної σ_1 й мінімальної σ_3 головних напруг. Елементарне зрушення відбувається під кутом $\pm \chi$ до напрямку дії напруження σ_1 . Кут χ пов'язаний з кутом внутрішнього тертя в ґрунті φ співвідношенням $\chi = \pi/4 - \varphi/2$. Система ліній зрушення ξ й ν , відповідна до характеру руху часток у радіально розбіжних напрямках буде мати форму логарифмічних спіралей (рис. 2,б).

Типова картина ліній зрушень при радіальному розширенні матеріалу проявляється як лінії Людерса при пластичній деформації циліндра з м'якої сталі (рис. 3,а) [5]. Циліндр при цьому зазнає розширення від дії внутрішнього тиску. Аналогія з живої природи – це спірально-видна форма ліній зсуву насіння соняшника в процесі його росту – розширення, що усуває надлишкову напругу й знижує енергоємність процесу (рис. 3,б).



а – лінії Людерса при деформації розширення сталевго циліндра;
б – спірально-видна форма ліній зсуву насіння соняшника в процесі його росту

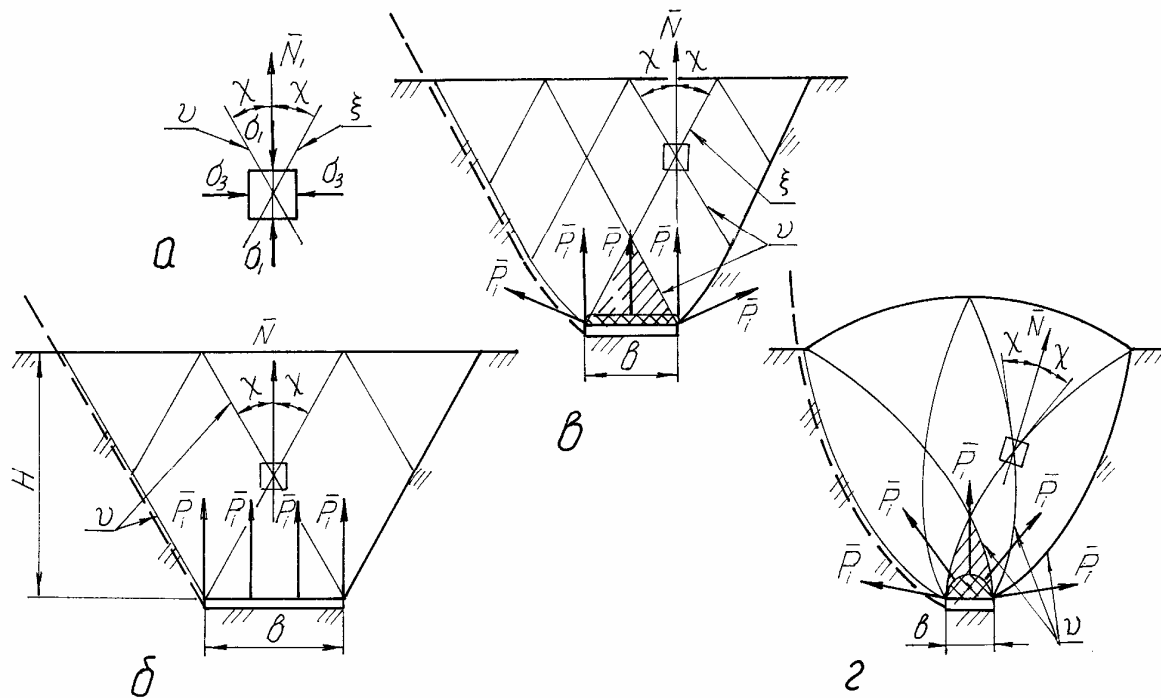
Рисунок 3 – Форма ліній зрушень в природних аналогах

Створити в шарі ґрунту розподіл тиску подібний показаному на рис. 1 та відповідну деформацію розтягнення часток і розширення шару можливо щонайменше двома способами. Перший – це застосування особливої форми робочого органа. Другий спосіб – це застосування деформаторів досить малої площі відносно глибини обробки. Технічно другий спосіб свідомо, чи підсвідомо реалізується використанням зубових робочих органів: чизельних розпушувачів, зубчастих лемешів, фігурних накладок на лемеші й тому подібним. Теоретично такий спосіб пояснюється наступним.

Залежно від співвідношення глибини обробки H і ширини долота b контактний тиск на робочій поверхні буде змінюватися. На вузькім долоті контактний тиск максимальний. Ймовірність подолання межі міцності ґрунту на стиск і перехід ґрунту в пластичний стан максимальна. Тіло підвищеного тиску із ґрунту, що утворюється в ґрунті перед і над долотом, фактично виконує роль робочої поверхні, перерозподіляє тиск у шарі й корегує форму долота. Розподіл тиску в ґрунті буде аналогічно показаному на рис. 1,а. Відповідно, система векторів елементарних сил $\bar{P}_i$ буде мати розбіжну, віялоподібну форму, що відповідає менш енергоємній деформації розтягнення шару (рис. 2,а, рис. 4,г). Відбувається перетворення стиску частини ґрунту

в розтягнення іншої частини шару ґрунту. Виконується загальне правило прагнення системи до мінімуму енергії.

На рисунку 4 показані моделі деформації шару ґрунту при роботі широкої лапи (відносно до глибини обробки) (рис. 4,б), вузької лапи або долота з відкрилком (рис. 4,в), і долота (рис. 4,г). При роботі лапи шириною більшою, ніж показана на рис. 4,б, зростає ймовірність утворення брил нерозпушеного ґрунту. Практичний приклад – явища при роботі плоскорізів-глибокорозпушувачів.



а – модель утворення поверхонь зрушень в елементарному обсязі ґрунту;
б, в, г – форми поверхонь зрушень і системи векторів для різних співвідношень ширини деформатора b та глибини обробки H
Рисунок 4 – Модель деформації шару ґрунту робочими органами різної відносної ширини й відповідна форма систем елементарних векторів

Практичні висновки з аналізу представлених моделей наступні.

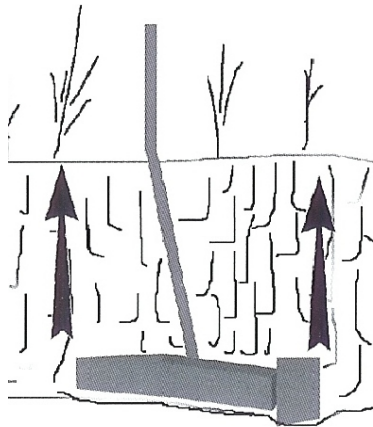
Для зниження ймовірності утворення ґрунтових брил, ширина робочого органа розпушувача у формі плоскої лапи без долота повинна бути $b/H \leq 0,5 \div 0,6$, де H – максимальна розрахункова глибина обробки.

Зниження енергоємності процесу розпушування ґрунту та підвищення вирівненості поверхні оброблюваного поля можливо досягти розташуванням стійки розпушувача з урахуванням орієнтації ймовірних поверхонь зрушень у шарі ґрунту.

У конструкції робочого органа оснащеного вузькою лапою або долотом з лапою-відкрилком виправданий нахил стійки в поперечному напрямку як, наприклад, це виконане в конструкції розпушувача Cultiplow (Combiplow) фірми Agriseim (рис. 5).

У конструкції робочого органа, оснащеного долотом, виправданий нахил стійки в поперечному напрямку з виконанням профілю стійки в поперечній площині у формі дуги.

Аналіз експериментальних даних, а також форм робочих органів знарядь, що незалежно випускаються різними фірмами, підтверджує адекватність висновків з теоретичних моделей. Приклад практичної реалізації наведеного аналізу – розпушувач для глибокої обробки ґрунту – одна з перших конструкцій з дугоподібною в поперечному напрямку стійкою оздобленою лемешем.



а

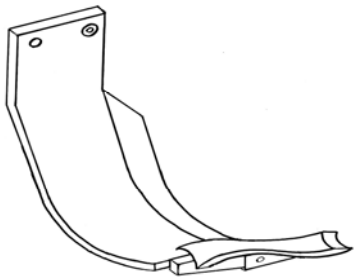


б

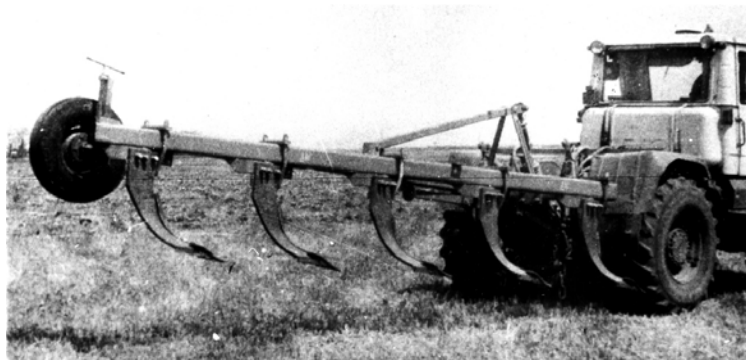
а – схема роботи робочого органа; б – вид робочих органів

Рисунок 5 – Знаряддя для безвідвального розпушування ґрунту з поперечно похилими стійками фірми Agriseim, виставка «Агро-2007» у Києві

Цей розпушувач був спільно розроблений ГСКТБ «Одессапочвомаш» і «ВИСХОМ» за участю автора статті, і відомий під маркою «ПРН» (рис. 6,а) [6,7]. Робочі органи типу «ПРН» пройшли цикл випробувань, що підтвердили їх ефективність, серійно випускалися на виробництві ПО «Одессапочвомаш», починаючи з 1986 року, і встановлювалися на рами плугів різних модифікацій. Знаряддя носять найменування плуги-розпушувачі навісні (рис. 6). Це знаряддя започаткувало цілий клас знарядь на принципі дугоподібних стійок-лемешів – полицеві плуги, ярусні розпушувачі та інші.



а



б

а – робочий орган ПРН 31.000; б – плуг-розпушувач навісний ПРН-5-35

Рисунок 6 – Знаряддя для безвідвального розпушування ґрунту з дугоподібними стійками марки «ПРН», виробництва ПО «Одессапочвомаш» (1986-1987р.р.)

Розпушувач «ПРН» конкурував зі знаряддям відомої на той час марки «Параплау» фірми Ховард Ротаватор, оздобленого стійками-лемешами плоскої форми з нахилом у поперечному напрямку. У даний час ряд фірм виробляє розпушувачі з принципово подібними до знаряддя «ПРН» дугоподібними в поперечному напрямку робочими органами з різними варіантами розміщення на рамах. Типове знаряддя, типа «ПРН», представлене на виставці «Агро-2007», показане на рисунку 7. Знаряддя «Параплау» на даний час зійшло з ринку сільгоспобладнання.



Рисунок 7 - Знаряддя для безвідвального розпушування ґрунту з поперечно похилими дугоподібними стійками фірми Quivogne, виставка «Агро-2007» у Києві

На підставі вище викладеного можна зробити наступні висновки.

Більш повне врахування фізико-механічних властивостей ґрунту й аналіз взаємозв'язку процесів, що відбуваються в шарі ґрунту під дією деформаторів, дозволяє розробляти конструкції розпушувачів ґрунту зі зниженим енергоспоживанням.

Долотоподібні робочі органи розпушують шар ґрунту в основному деформаціями зрушення з розтягненням. Даний висновок прийнятний при певних параметрах робочого органа та ґрунтових умов.

Зниження енерговитрат і підвищення якості обробки ґрунту можливо досягти:

- комбінацією в конструкції робочого органа долота й стійки-лемеша;
- виконанням профілю форми поперечної стійки-лемеша робочого органа за формою ймовірної поверхні зрушення в шарі ґрунту.

Список літератури

1. Горячкин В.П. Теория плуга. – М.: Промиздат, 1927. – 198с.
2. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328с.
3. Ветохин В.И. Применение системы поверхностей с переменной кривизной при создании серии рабочих органов // Тракторы и с.-х. машины. – 1994. – №4. – С.26–28
4. Зеленин А.Н. Резание грунтов. –М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 272с.
5. Джонсон У., Меллор П.Б. Теория пластичности для инженеров: Пер. с англ. А.Г.Овчинникова. – М.: Машиностроение, 1979. – 567 с.
6. А.с. 1545953 СССР, МКИ А 01 В 13/08. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы / Панов И.М., Ветохин В.И., Ройтберг В.И. и др. Заявл. 23.04.86; Оpubл.28.02.90. Бюл. № 8.
7. Ветохин В.И. Проектирование форм рабочих поверхностей рыхлителей почвы на основе принципа отображения рациональных деформаций пласта // Инф. Сб. ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, Сер. 2 - Сельхоз. машины и орудия, Вып. 2-3. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1992. –С. 9–22.

В статті описан приклад проектування параметрів глибокорыхлителів на основі аналізу й моделювання деформації ґрунту з урахуванням її властивостей, зокрема, різниці міцності ґрунту на стиснення й розтягнення. Приведен приклад реалізації теорії в конструкції рыхлителя типу «ПРН».

In article it is devoted to the example of the design of parameters subsoilers and chisel plow on the basis of analysis and modeling of deformation of the soil taking into account its property, specifically the difference between the soil compression strength and its tensile strength. The example of the realization of the theory in the constructing of the soil cultivating tool of “PRN” type is also given.