

Б.А. Волик, доц., канд. техн. наук, Г.В. Теслюк, асп., В.О. Дубовик, асист.
Дніпропетровський державний аграрний університет

Аналітичні дослідження розпушення ґрунту з залученням цифрової імітаційної моделі

В роботі розглянуто принципи побудови імовірнісної моделі розпушення ґрунту ґрунтообробними знаряддями. На основі модельних досліджень запропоновано нову методику оцінки якості обробітку ґрунту.

розпушення ґрунту, модельні дослідження, імовірність

Більшість дослідників, що працюють над створенням сільськогосподарської техніки, використовують різні види моделювання. В основному, це фізичне та математичне моделювання. В першому випадку, в лабораторних умовах досліджують роботу моделі робочого органа з використанням реального або модельного робочого тіла, в другому – реальний процес інтерпретують системою математичних рівнянь, вирішення яких дозволяє певним чином оптимізувати конструктивні та кінематичні параметри робочого органа.

В даному випадку проблема полягає в тому, що механіко-технологічні властивості ґрунту носять імовірнісний характер, що не дозволяє створити точну математичну модель. Тому, описуються не реальні процеси і машини, а їх моделі, створені з великою кількістю умовних спрощень. Створена на такій основі машина тільки з певним наближенням оптимально виконує технологічний процес.

Останнім часом в різних галузях отримав широке розповсюдження віртуальний метод моделювання. У відповідності до визначення, віртуальна реальність – це є створене за допомогою ПЕОМ аудіовізуальне середовище, яке сприймається дослідником за реальне. Сутність методу полягає в тому, що реальний технологічний процес вивчається шляхом відтворення поведінки окремих його складових з наступним урахуванням взаємодії між складовими. Модель будується таким чином, що в ході досліджень об'єкти починають діяти самостійно, виконуючи передписані їм операції та взаємодіючи один з одним. Переваги такого підходу полягають в тому, що програмне забезпечення дозволяє змінювати параметри процесу в реальному масштабі часу. Це, в свою чергу, дозволяє математично описати процес розпушення поелементно з урахуванням імовірнісних характеристик ґрунту і підсумувавши як можна більшу кількість елементів отримати повністю детерміновану картину процесу.

Проектування нових ґрунтообробних машин має за мету покращення якісних показників розпушення ґрунту. При цьому, якість розпушення різними авторами трактується по різному. Загальноприйнято, оцінювати розпушення за коефіцієнтом розпушення, який визначається як відношення об'єму ґрунту після проходу агрегату до об'єму до проходу агрегату. Недолік цього показника – він не враховує абсолютний розмір структурованих агрегатів.

Існує ряд методик оцінки якості розпушення ґрунту. в основі яких покладено моделі структури ґрунту на основі кульок однакового, або різного діаметрів. На основі модельних досліджень [1] була запропонована методика оцінки якості розпушення за допомогою двох показників.

Перший – ступінь розпушення ґрунту. Характеризує середньостатистичні розміри агрегатів, що утворилися під дією робочого органа

$$i = \frac{\sqrt[3]{a \cdot b \cdot k}}{D_{50}}, \quad (1)$$

де a, b – глибина ходу та ширина захвату робочого органа;

k – приведена довжина лінії зколу в ґрунті;

D_{50} – максимальний діаметр структурованих агрегатів, накоплений вміст яких становить 50%.

Для відомих ґрунтообробних знарядь основного обробітку ґрунту на глибину 0,2...0,4 м, як було доведено [2], становить $k = 1$ м. Не важко підрахувати, що для розмірів структурованих агрегатів 2...10 мм, ступінь подріблення $i = 50...250$, що і слід вважати оптимальним значенням.

Другий – коефіцієнт різноподріблення структурованих агрегатів. Цей коефіцієнт характеризує не одноманітність структури за розмірами агрегатів і визначається

$$K_p = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \quad (2)$$

де D_{60}, D_{10} – максимальні приведені діаметри структурованих агрегатів, накоплений вміст яких становить відповідно 60% та 10% за масою.

Коефіцієнт різноподріблення структурованих агрегатів безпосередньо пов'язаний з водопроникливістю (B_{II}), пористістю (II) та об'ємною масою (m_v) і носить статистичний характер. Для значень $B_{II} = 60$ мм/год, $II = 50...55\%$, $m_v = 1,1...1,2$ г/см³ отримано значення $K_p = 10...25$ [2], що теж необхідно вважати оптимальним.

Наведена група показників може бути визначена як безпосередньо замірами, так і розрахована аналітично. Останнє особливо важливо, бо дозволяє моделювати процес взаємодії робочого органа з середовищем. Важливим аргументом на користь використання K_p та i є можливість їх оперативного отримання з заповненням методів електронного сканування з наступною обробкою на ПЕОМ. При цьому, структура не порушується і визначені показники досить об'єктивно характеризують стан розпушення ґрунту.

Проте, у процесі роботи нами було виявлено неспівпадання експериментальних та отриманих аналітично значень коефіцієнтів. При цьому, теоретичні значення постійно перевищували експериментальні на 10...15% і це є стримуючим фактором у процесі створення віртуальної моделі. Тому, подальшими дослідженнями, нами внесено окремі корективи в інтерпретацію i та K_p , що, як буде показано нижче, суттєво покращило збіг експериментальних та теоретичних даних.

Визначення якісних показників розпушення ґрунту робочим органом передбачає взяття проб з наступною сепарацією на ситах, що не можливо в умовах моделювання. Таким чином, стримуючим елементом є відсутність критеріїв порівняльної оцінки показників якості розпушення в модельних та реальних умовах.

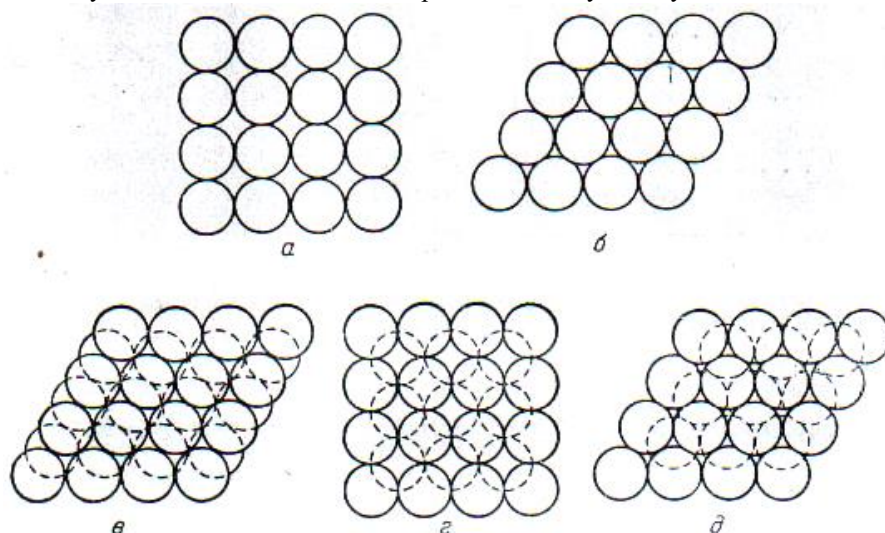
Метою роботи є розробка та практичне відпрацювання шляхом модельних досліджень на ПЕОМ основних положень методики інтегральної оцінки якісних показників розпушення ґрунту.

Проведені лабораторні дослідження у ґрунтовому каналі показали, що розпушення відбувається у наступній послідовності: відокремлення призми ґрунту від загального масиву і потім розпушення безпосередньо самої призми. Тому за початковий об'єм, що підлягає розпушенню, нами прийнято об'єм саме такої відколотої призми. Якість розпушення оцінюється на кінцевому етапі за результатами укладання розпушеного матеріалу на дно борозни.

У процесі сходження з поверхні робочого органу та удару о дно борозни кінетична енергія агрегату переходить у потенційну енергію руйнування останнього. При цьому агрегати набувають більш округлої форми, як енергетично більш вигідної. Крупні агрегати руйнуються інтенсивніше, тому середовище стає більш одноманітним за складом. Логічно, таке середовище моделювати кульками різного діаметру з хаотичним, але сталим пакуванням.

Існує ряд моделей структури ґрунту, в яких лінійні розміри агрегатів приводяться до кульок відповідного діаметра. Для кульок, однакових за розмірами, може бути 5 відмінних правильних пакувань (рис.1, табл.1).

Рисунок 1 – Схеми можливих правильних пакувань кульок одного діаметра



Таблиця 1 – Характеристики правильних пакувань кульок

Тип пакування	Кількість контактів	Відстань між шарами	Щільність	Пористість, %
Звичайна кубічна (а)	6	$2R$	$\pi/6$	47,64
Кубічно-тетраедральна (б)	8	$2R$	$\frac{\pi}{3} \cdot \sqrt{3}$	39,54
Тetraедрально-сфероїдальна (в)	10	$R\sqrt{3}$	$2\pi/9$	30,19
Пірамідальна (г)	12	$R\sqrt{2}$	$\frac{\pi}{3} \cdot \sqrt{2}$	25,95
Тetraедральна (д)	12	$2R\sqrt{2/3}$	$\frac{\pi}{3} \cdot \sqrt{2}$	25,95

Пристаєовано до моделювання ґрунту, дійсне розташування кульок має бути створене з імовірної комбінації наведених пакувань. Для створення такої моделі треба визначитись з критерієм сталості комбінації кульок. Бурдейєм [3] було доведено, що найбільше число кульок, з якими може увійти у контакт довільно взята кулька становить 12. Обґрунтування параметрів найбільш розрідженого пакування, при якому кульки залишаються нерухомими, дано Гілбертом та Кон-Фоссеном [4]. Таке пакування відповідає 4 контактам кульки з сусідніми.

При сталому щільному пакуванні між кульками утворюються порожнини, які заповнюються кульками меншого радіусу. Найбільша кулька, яку можна помістити у порожнину, утворену структурою з кубічним розташуванням, буде мати радіус

$$r_1 = R(\sqrt{2} - 1) = 0,41R, \quad (3)$$

де R – початковий радіус кульок, що утворюють структуру.

Відповідно у порожнину найбільш ущільненої тетраедральної структури

$$r_2 = R(\sqrt{3/2} - 1) = 0,22R. \quad (4)$$

Таким чином, кульки радіусом $0,41R < r_1 < R$ за умови наявності не менше 4 контактів з сусідніми утворюють скелет структури, радіусом $r_2 < 0,22R$ утворюють другий рівень заповнення. Кульки, радіусом $0,22R < r_1 < 0,41R$ мають перехідний стан і їх належність залежить від конкретного положення у структурі.

Неодноманітність наведеної структури з кульок різного радіусу можна характеризувати коефіцієнтом, що являє собою відношення середнього радіусу скелетоутворюючих кульок до середнього радіусу кульок другого рівня заповнення

$$K_p = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_1^n r_1}{\frac{1}{m} \cdot \sum_1^m r_2}, \quad (5)$$

де n, m – відповідно кількість кульок скелетоутворюючих та другого рівня заповнення.

Це відношення прийнято нами за коефіцієнт різноподріблення структурованих агрегатів. Складність полягає в тому, що радіуси кульок мають імовірнісний характер. В процесі віртуального моделювання на ПЕОМ взаємодії знаряддя з ґрунтом, коли кожен агрегат розглядається окремо, таке обчислення складнощів не створить.

В польових умовах структурований склад агрегатів визначають шляхом просівання на ситах з різними діаметрами отворів та наступним зваженням фракцій. Для отримання в обох випадках співставимих результатів необхідно знати найбільш імовірне процентне співвідношення скелетоутворюючих агрегатів та агрегатів другого рівня заповнення.

Змоделюємо процес утворення структури на ПЕОМ шляхом перегляду різних варіантів заповнення простору. Для цього екран монітора приймаємо за зріз модельного середовища нескінченно малої товщини ΔX (рис.2).

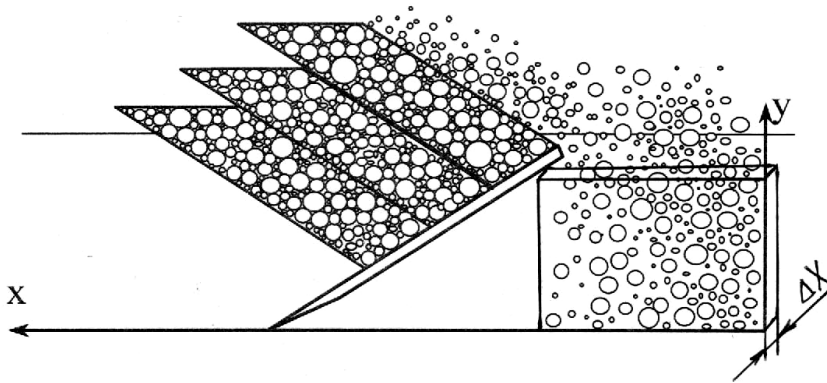


Рисунок 2 – Схема модельних досліджень

За допомогою генератора випадкових чисел ПЕОМ відокремлену призму ґрунту заповнюємо кульками, які по мірі сходження з поверхні лемеша заповнюють поверхню екрана монітора. Падаюча кулька продовжує свій рух до контакту мінімум з 4 кульками, після чого виконується перевірка на сталість конструкції за критерієм можливості вільного переміщення. Після заповнення всього простору підраховується загальний об'єм скелетоутворюючих кульок та кульок другого рівня заповнення. Модельний експеримент виконано з повторністю у 5000 прогонів зі зміною закону розподілення випадкових чисел та знайдено середнє значення. За результатами

розрахунків нами встановлено, що загальний об'єм скелетоутворюючих кульок становить приблизно 62%, кульок другого рівня – 13%. Таке уточнення, як показали лабораторні експерименти, дозволило наблизити сходження теоретичних розрахунків з практичними замірами. Таким чином, коефіцієнт різноподріблення структурованих агрегатів треба визначати за залежністю

$$K_P = D_{62}/D_{13}, \quad (6)$$

де D_{62} і D_{13} – відповідно середні приведені діаметри агрегатів, що мають вміст відповідно 62% та 13%.

Проведені аналітичні дослідження вказують на можливість використання для оцінки якості розпушення коефіцієнта різноподріблення структурованих агрегатів. Наведений коефіцієнт дозволяє виконувати оцінку розпушення як за аналітичними розрахунками, так і безпосередньо в польових умовах. Це дозволяє використовувати його для моделювання взаємодії ґрунтообробних знарядь з ґрунтом, або модельним середовищем.

Список літератури

1. Панченко А.Н., Волик Б.А. Аналітичні дослідження крошення ґрунту з використанням цифрової імітаційної моделі // Механізація сільськогосподарського виробництва / Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Том IV. Київ, 1998. – С.328-330.
2. Панченко А.Н. Теорія измельчення ґрунту ґрунтообробними оруддями / Днепропетр. гос. агр. ун-т.- Днепропетровск, 1999. – 140с.
3. Voerdijk A.H. Some remarks concerning close-packing of equal spheres. Philips Res. Repts.,7., 1952. - p. 303-313.
4. Hilbert D., Cohn- Vossen S. Anschauliche Geometrie., Berlin, 1932. p.46-51.

В работе рассмотрены принципы построения вероятностной модели крошения ґрунту ґрунтообробними оруддями. На основе модельных исследований предложена новая методика оценки качества обработки ґрунту.

In work have been considered the principles of construction probability model of soil crumbling by cultivations tools. On the base of model investigations the new method quality estimation of soil cultivation was suggested.

Одержано 18.07.05