

29. П.М. Забродський, Житомирський національний агроекологічний університет.

ВПЛИВ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ҐРУНТУ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ В ҐРУНТАХ

Одним із факторів, які визначають родючість ґрунтів, є оптимальна структура ґрунту і наявність ньому достатньої кількості агрономічно-цінних водотривких агрегатів. Розглянуто вплив напруженого стану ґрунту на процеси структуроутворення. Розроблена математична модель, яка дозволяє розрахувати напружений стан ґрунту в залежності від геометрії дискових робочих органів з вирізами.

Проблема. Структура ґрунту є одним з найважливіших показників фізичного стану родючості ґрунтів. Вона визначає сприятливу будову орного шару ґрунту, його водні, фізико-механічні і технологічні властивості, водно-гідрологічні константи і протиерозійну стійкість. Родючість ґрунту забезпечується при наявності в ньому достатньої кількості агрономічно-цінних водотривких агрегатів. Під дією зовнішніх навантажень в агрегатах ґрунтових частинок виникають напруження, які можуть приводити до появи мікротріщин. Якщо механічні напруження перевищують допустимі, каркас в агрегатах руйнується, і відбувається розпад їх на водостійкі ядра. При цьому з'являються і нові водно-колоїдні і молекулярно-контактні зв'язки, частота появи яких збільшується із зменшенням відстані між частинками ґрунту. В умовах малозв'язних мінеральних дерново-

підзолистих ґрунтів Полісся України, водотривкі ґрунтові агрегати яких легко руйнуються при механічному обробітку, важливо, щоб при механічному обробітку в ґрунті створювався такий напружений стан, який забезпечував би мінімальне руйнування агрономічно-цінних водотривких агрегатів.

Результати досліджень. Об'ємний напружено-деформований стан, який виникає в ґрунті при механічному обробітку ґрунту, залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту і від геометричних параметрів робочого органу знаряддя. При дослідженні напружено-деформованого стану ґрунту необхідно встановити функціональні залежності між напруженнями σ і деформаціями ε . При цьому в механіці ґрунтів використовують різні моделі ґрунту. Наприклад такі моделі, як тверде тіло, суцільне пружне середовище, суцільне сипуче нестискаєме середовище. Модель ґрунту у вигляді суцільного деформованого середовища дозволяє виділити формозміну і руйнування водотривких агрегатів ґрунту. При цьому при аналізі напружено-деформованого стану можна застосовувати методи математичного аналізу. Але такі моделі не пояснюють важливої агротехнічної властивості ґрунту - зміну його щільності при обробітку робочими органами ґрунтобробних знарядь. З цієї точки зору більш доцільно використовувати моделі структур ґрунту [1], наприклад модель Іванова (розподілення напружень в ґрунті, як в системі куль, що укладені в прошарки), модель Покровського, як система довільних за формою частинок, що випадковим чином спираються одна на одну, швелерна модель Кандаурова, модель Мічуріна, заснована на припущенні Кеплера про найбільш щільне розташування куль в просторі. Але і ці моделі є чисто розрахунковими і визначити фізико-механічні характеристики ґрунту на практиці виявляється дуже складно. В.П. Дьяков [2] пропонує модель ґрунту при якій ґрунт розглядається як природне дисперсне тіло, яке складається з окремих мілких і наймілкіших мінеральних частинок, які не зв'язані між собою, або зв'язані так, що міцність зв'язків в багато разів менша міцності матеріалу самих частинок. Зовнішнє навантаження при цьому сприймається в ґрунті твердими мінеральними частинками і передається від одної частинки до іншої через точки їх контакту. Розмір частинок дозволяє визначити дослідження проведене К.Ю. Ханом [3]. В цьому дослідженні ґрунт розглядається як хаотична пориста упаковка, яка апроксимується сукупністю розташованих за трьома напрямками ланцюжків, що складаються з рівновеликих сферичних частинок. Основними параметрами даної моделі є розмір частинок $D = 2r$ і безрозмірний фактор упаковки n , який дорівнює числу частинок, що розміщуються від одного вузла до іншого. Оцінка параметрів D і n виконана на основі експериментально визначених значень кількості контактів між частинками χ (табл.1) за залежністю:

$$\chi_1 = (1/D)^2 \text{ при } n = 1 \quad (1)$$

$$\chi_2 = (1/n)^2 \cdot (1/D)^2 \text{ при } 3 \leq n < \infty \quad (2)$$

Таблиця 1 – Кількість контактів між частинками і величина фактору n для ґрунтів характерних для Полісся України

Ґрунт	$\chi \cdot 10^9$ конт/см ²	n
Дерново-підзолисті	0,53	2,03
Дерново-слабопідзолисті	1,22	1,32
Світло сірі лісові	1,47	1,20
Сірі лісові	1,86	1,10

Розрахунки показали, що для агрегатів всіх досліджених ґрунтів $D = 2,16 \cdot 10^{-5}$ см.

Розрахунок напружено-деформованого стану ґрунту вивчався в дослідженнях Цитовича, Ребіндера та інших. При цьому визначався напружено-деформований стан при дії на ґрунт зосередженої сили, розподіленого навантаження, деформаторів у вигляді конуса чи клина. В дослідженні [2] розглядається дія штамп, що моделює робочий орган на ґрунт. Спершу при взаємодії штамп, що передає зовнішнє навантаження, і ґрунту стискаючі напруження діють на поверхні частинок, розташованих безпосередньо в точках контакту з площиною навантаження. Потім ці частинки, зміщуючись, діють на сусідні. По мірі руху робочого органу в опір ґрунту включається все більше частинок. Із збільшенням кількості твердих частинок, що приймають участь в опорі переміщенню робочого органу, що рухається з постійною швидкістю, опір ґрунту деформації зростає. В якийсь момент часу кількість твердих частинок, що приймають на себе навантаження з боку робочого органу досягне для даного випадку максимуму. Процес перерозподілу навантажень від робочого органу до ґрунту стабілізується. Ущільнення ґрунту, що

деформується, викликане відносним переміщенням частинок ґрунту і проникненням в проміжки між ними закінчується. Таким чином перед робочим органом ґрунтообробного знаряддя утворюється ущільнене ядро. Дослідами [4] підтверджується, що це ущільнене ядро має форму клина.

Тобто утворюються дві зони деформацій і, відповідно, напружень ґрунту: зона пластичних деформацій, яка прилягає до поверхні робочого органу і зона зсувних деформацій. Робочою поверхнею ґрунтообробного знаряддя після утворення ущільненого ядра стає не поверхня робочого органу, а поверхня ущільненого ядра. Напруження і деформації в будь-якій точці деформованої зони пов'язані між собою залежністю напруження - деформація. Залежність деформації від напруження має досить складна і повинна визначатися експериментально, тому що змінними є величини напружень на гранях виділеного об'ємного ґрунтового елемента σ_I , σ_{II} , σ_{III} і їх напрямки. Величина деформації і напружений стан ґрунту залежать також від його фізико-механічних властивостей і форми поверхні робочого органу.

В залежності від типу ґрунтообробного знаряддя і виду прикладеного навантаження деформування і руйнування ґрунту може відбуватися за такими схемами: відрив, коли тріщини розходяться одна відносно одній; поперечний зсув, коли поверхні тріщини ковзають одна по одній в поперечному напрямку; поздовжній зсув, коли поверхні тріщини ковзають одна по одній у поздовжньому напрямку. Найбільш несприятливий вплив на структуру ґрунту чинить обробіток за другою схемою. Такий обробіток призводить до руйнування агрегатних формувань і до значного розпилювання структури. Як показують проведені розрахунки, при обробітку ґрунту дисковими знаряддями з вирізами в ґрунті виникає складний напружений стан з числом зон контактних навантажень рівних числу працюючих виступів. Розроблена математична модель, яка дозволяє розрахувати напружений стан ґрунту в залежності від відстані між виступами $2a$ і величини навантаження G :

$$\sigma_x = -\frac{G}{\pi} \left\{ \frac{x^3}{[x^2 + (y-a)^2]^2} + \frac{x^3}{[x^2 + (y+a)^2]^2} \right\}$$

$$\sigma_x = -\frac{G}{\pi} \left\{ \frac{x(y-a)^2}{[x^2 + (y-a)^2]^2} + \frac{x(y+a)^2}{[x^2 + (y+a)^2]^2} \right\}$$

$$\tau_{xy} = -\frac{G}{\pi} \left\{ \frac{x^2(y-a)}{[x^2 + (y-a)^2]^2} + \frac{x^2(y+a)}{[x^2 + (y+a)^2]^2} \right\}$$

За дослідженнями А.С. Кушнарєва [5] напруження і деформації ґрунту залежать від геометрії робочого органу. Тому розроблена математична модель дозволяє дослідити вплив геометричних параметрів робочого органу на напружений стан ґрунту і спроектувати найбільш раціональну форму дискових робочих органів з вирізами.

Висновки. В процесі механічного обробітку ґрунту необхідно створити в ґрунті такий напружений стан, при якому баланс між процесами руйнування структури ґрунту і структуроутворення зміщується в бік структуроутворення. Розроблена математична модель дозволяє спроектувати найбільш раціональну форму дискових робочих органів з вирізами.

Література

1. Шелудченко Б.А. Агромеханіка ґрунтів. – Житомир, Полісся, 1992. – 249 с.
2. Дьяков В.П. Обоснование механической и энергетической моделей деформации и потери сплошности почвы / Дьяков В.П. // Материалы Всероссийской. науч.-практ. конф. «Сохранение и воспроизводство плодородия почв в адаптивно-ландшафтном земледелии». ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН 13-15 сентября 2011 г. Курск. С. 147-157.
3. Хан К.Ю. Энергетическая характеристика водоустойчивости почвенных агрегатов : автореф. дис. докт. биол. наук. Пушино, 2012. 54 с.
4. Ветохін В.І. Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-ґрунт» / В. І. Ветохін // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - 2009. - Вип. 22. - С. 119-124.
5. Кушнарєв А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарєв, В.И. Кочев.- К.: Урожай, 1989. - 140 с.

30. *О. І. Гапоненко, Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого»*

ПРИРОДА ТА ПЕРЕДУМОВИ ПОЯВИ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ В СИСТЕМІ «ГРУНТ – ДИСК – ПРУЖНИЙ СТОЯК» З ДИНАМІКИ ПРОЦЕСУ ОБРОБІТКУ ГРУНТУ

Одним з шляхів вирішення основної проблеми енергозбереження в аграрному виробництві є пошук відповідності геометрії робочих органів фізичному процесу деформації ґрунту з введення змінного в часі елементу системи [1], альтернативним варіантом технічного рішення такого елементу може бути пружний стояк для робочого органу (рис. 1).



Рисунок 1 – Пружні стояки дискових робочих органів

Виявлення закономірностей процес взаємодії дискового робочого органу на пружному стояку з ґрунтовим середовищем дозволить досягти зниження енергозатрат.

Пояснення природи підвищення енергоефективності з використанням пружного стояка лежить в фізичних основах механіки ґрунтів з прояву властивостей їх міцності. Базуючись на залежностях стану ґрунту проілюстрованих діаграмою його деформації при різних нормальних напруженнях σ_1 та σ_3 в координатах відносної деформації ϵ та різниці $\sigma_1 - \sigma_3$, величина роботи під кривими в'язкого та крихкого руйнування є суттєво різною і виступає резервом для збільшення ефективності [1]. В процесі деформування ґрунту робочим органом на його поверхні утворюються дві зони з різним характером деформацій – пластичного перетікання поверхніми ковзання та зсувних деформацій з ознаками крихкого руйнування об'єму пласта, що розділені в просторі за полями напружень та деформацій [1]. На робочих органах з жорстким кріпленням розмежування цих зон є динамічним процесом саморегулювання з проявами зворотного зв'язку роль якого виконує частина пласта ґрунту [1]. У випадку дискового робочого органу на пружному стояку імовірно осередки утворення ущільненого ядра постійно зсуваються від його коливань, більш енергоємне тертя ґрунт-ґрунт замінюється на тертя метал-ґрунт з меншим коефіцієнтом тертя.

Введення в конструкцію кріплення дискового робочого органу пружного елементу спричиняє виникнення умов саморегулювання системи, а саме – здатність її елементів та системи в цілому змінювати структуру, що потребуватиме врахування фізичних аспектів прояву зворотного зв'язку і авторегулювання.

Для адаптивного керування технологічним процесом в залежності від зовнішньої дії ґрунтового середовища та завданням виконання агротехнічних вимог зворотній зв'язок в системі, виконує вимірювально-логіко-виконуючий пристрій [1], роль якого в процесі взаємодії виконує елементи пружного кріплення ґрунтообробного робочого органу.

Базуючись на схемі саморегулювання системи «джерело енергії – розпушувач – ґрунт», що існує за умови постійного перерозподілу в обмінних процесах [2], прийємо коливання пружного стояка як результат процесу реалізації природних властивостей ґрунту, а саме, здатність деформуватися і руйнуватися крихковидно, в'язко та пластично при різному напруженому стані.

Потік енергії від джерела передається за допомогою робочого органу до об'єму ґрунту та між зонами різного його напружено-деформованого стану, крізь межі цих зон з різною структурою. Таким чином, в системі «джерело енергії – розпушувач – ґрунт» [2] виникають підсистеми, що забезпечують зворотний зв'язок і саморегулювання. Пружний стояк дискового робочого органу можна вважати приймачем та передавачем енергії змінної потужності, що залежить від структури

оброблюваного ґрунту в даний момент часу. Дослідження необхідно спрямувати на пошук концептуальних схем та розрахункових моделей передачі і циркуляції енергії в системі «ґрунт – диск – пружний стояк», що враховують випадковий характер реакції ґрунту.

За коливаннями пружного стояка виконано спостереження за поведінкою системи при варіюванні жорсткості та пружних відхиленнях від зовнішньої дії (рис. 2).

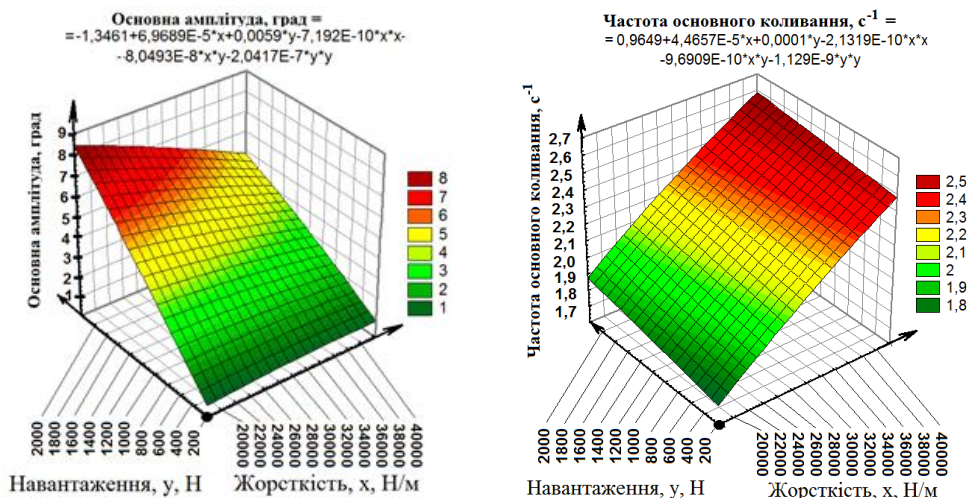


Рисунок 2 – Залежності змін амплітуди і частоти коливань пружного стояка (динамічні характеристики)

Дослідження змін динамічних характеристик пружних стояків в залежності від визначальних умов роботи (навантаження від величини зовнішньої дії) та конструкційних параметрів (коефіцієнт жорсткості) для дискових ґрунтообробних агрегатів, що виконують технологічні операції поверхневого обробітку ґрунту (глибина до 8 см) виконано імітаційними експериментами системи «ґрунт – диск — пружний стояк».

Динамічні характеристики пружних стояків (рис. 2) відповідають вихідним вимогам на агрегати та мають потенціал підвищення енергоефективності за експлуатаційними показниками витрати паливо-мастильних матеріалів.

Перелік посилань

1. Ветохин В.И. О динамике формы поверхности рабочих органов почвотрыхлителей / В.И. Ветохин // Тракторы и сельхозмашины. – 2010.– № 6. – С. 30 – 35.
2. Ветохін В. Стосовно механізму виникнення саморегулювання системи «джерело енергії – розпушувач – ґрунт» / В. Ветохін, Н. Білицька, О. Гетьман // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – 2012. – Вип. 16 (30). – К.1. – С. 230 – 237.