

УДК 621.891:631.31

**В.В. Аулін, проф., канд. ф-м. наук, А.А. Тихий, асп.**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Врахування реологічних властивостей ґрунтів при їх взаємодії з РОГМ

В статті проведений аналіз елементів трибосистеми “ґрунт – робочий орган” при їх контактній взаємодії з врахуванням напружено-деформованого стану та реологічних властивостей ґрунту.  
**ґрунт, реологія, робочий орган, реологічні властивості ґрунту, стисливість ґрунту, контактна взаємодія**

Одним з головних шляхів підвищення надійності робочих органів сільськогосподарської техніки є вивчення закономірності тертя і зношування на основі сучасних досягнень науки і техніки. Деталі і робочі органи ґрунтообробних машин (РОГМ) безпосередньо працюють в середовищі ґрунту. Дослідження проведені М.М.Хрущовим, В.М.Ткачовим і М.М.Тененбаумом М.О.Качинським та іншими вченими показали, що на ґрунтах досліджуваних ними регіонів характер та величина зношування різні [1]. При чому величина зношування робочих поверхонь деталей має випадкову природу і локальний характер.

Не дивлячись на істотні досягнення в цій важливій проблемі, основні закономірності зношування матеріалів робочих органів в ґрунтових середовищах залишаються ще недостатньо дослідженими. Особливу увагу слід звернути на процеси при контактній взаємодії РОГМ з ґрунтом, враховуючи його реологічні властивості [2-4]. При цьому необхідно враховувати напружено-деформаційний стан ґрунту як гетерогенного абразивного середовища.

Метою даної роботи є аналіз елементів трибосистеми “ґрунт – робочий орган” при їх контактній взаємодії з врахуванням напружено-деформованого стану та реологічних властивостей ґрунту.

Реологічні властивості ґрунтів, як функції структури, належать до їх структурно-функціональних властивостей і відображають взаємодію фаз. Реологічні дослідження дозволяють розкрити внутрішню природу міцнісних властивостей ґрунтів, отримати уявлення про переважаючі типи структурних зв'язків і дати інтегральну оцінку їх міцності, між структурними складовими, що беруть участь в утворенні агрегатів ґрунту.

Теорія граничної рівноваги пластичної деформації має особливо велике значення для ґрунтів, оскільки їх розвиток приводить до втрати стійкості структури самих ґрунтів [3].

Залежно від величини навантаження на ґрунт розрізняють два напружених стани: дограничний та граничний. Перший характеризується цілком певними деформаціями, зміна яких може відбутися або унаслідок підвищення рівня напруження або в результаті тимчасових ефектів повзучості, консолідації та ін.

Другий стан характеризується досягненням напруження в ґрунті такої критичної комбінації, при якій встановлюється гранична рівновага між зовнішнім навантаженням і внутрішніми силами опору ґрунту. В цьому випадку найменше збільшення сил, що впливають на ґрунт, приводить до втрати ним стійкості, що викликається руйнуванням

зв'язків між частинками, утворення сітки тріщин і розривів і розвитком необоротних зсувів уздовж поверхонь ковзання.

У ґрунті в природних умовах реалізуються всі основні типи дисперсних структур: коагуляційні, кристалізаційні і конденсаційні, утворюються змішані коагуляційно - конденсаційно - кристалізаційні зв'язки. Мінерали ґрунту з властивостями, що різко відрізняються від властивостей основної маси, дозволили спостерігати зміни структурних зв'язків, які відбувалися в зразках не тільки при збільшенні швидкості деформації, але і в межах однієї швидкості.

Поведінка ґрунту при заданому напруженні зсуву в широкому тимчасовому діапазоні може дати чітку картину відмінностей у властивостях. Були вивчені серії реологічних кривих за різних умов зволоження і деформації.

Ділатантні системи (піски, піщані і лесові ґрунти - «дійсна» ділатансія, а також ґрунтові горизонти з міцною макроструктурою - «хибна» ділатансія), що знаходяться у вологому стані, розріджуються при механічній дії, а після її припинення відновлюють первинний стан за рахунок сил тяжіння частинок.

Дослідження поведінки реології черноземів показали, що всі варіанти характеризуються зміцненням в часі, яке відбувається в основному за рахунок механічного (ділатантного) ущільнення грубодисперсної фракції. Це означає, що в сухому стані ці ґрунти рихлі, а у вологому - ділатантно зміцнені. Коагуляційні зв'язки цих ґрунтів характеризуються досить малою міцністю і при деформації колоїдна частина відіграє роль мастила між грубодисперсними частинками. Переважання грубодисперсної фракції у вигляді дрібнокристалічного кварцу і невеликий вміст гумусу створюють сприятливі умови для прояву ділатантних властивостей.

Згідно теоріям, заснованим на контактних взаємодіях частинок, ґрунту при збільшенні частки дрібної фракції (при руйнуванні структури в процесі дослідження) число контактів збільшується, отже слід очікувати максимальної в'язкості та мінімальної стисливості ґрунту.

При впливі на ґрунт РОГМ спостерігається його стисливість. Стисливість ґрунтів характеризується різкою їх усадкою на початковому етапі навантаження. Це можна пояснити витискуванням бульбашок повітря і води, заповненням порожнин мінеральними частинками ґрунту. При зниженні температури інтенсивність протікання початкового етапу усадки спадає для всіх видів ґрунтів. В процесі обробки ґрунтів РОГМ їх усадка сповільнюється, не дивлячись на зростання величини зовнішнього навантаження. На останньому етапі взаємодії відбувається стабілізація в усадці і стисливість ґрунту практично не змінюється.

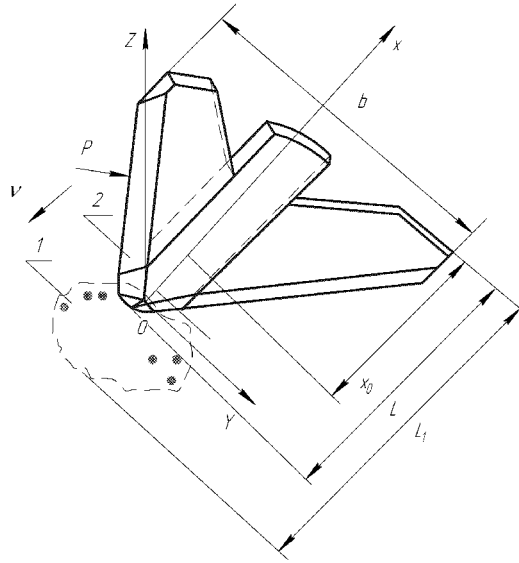
Для піщаних і супіщаних ґрунтів деформація ущільнення протікає в часі швидше, ніж для глинистих і черноземів. Оскільки глинисті ґрунти характеризуються великим водонасиченням в порівнянні з піщаними і супіщаними, то процес витискування води з них протікає значно повільніше.

Для ґрунтів, що складаються з твердих частинок, водних і повітряних включень, спостерігаються об'ємні необоротні деформації, тобто необоротна стисливість і наявність зсувних ефектів.

Враховуючи зміну стисливості ґрунту при дії на нього РОГМ, можна побудувати математичну модель взаємодії. При цьому обґрунтовується вибір реологічної моделі ґрунту як середовища, що пластично стискується. Розрахункова схема моделі взаємодії РОГМ з ґрунтом наведена на рис. 1. Рух частинок ґрунту в площині  $XOY$  можна описати рівнянням:

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (1)$$

де  $\rho_1, v_1, P$  - відповідно щільність, швидкість і тиск ґрунту;  
 $t$  - час.



1 - ґрунт; 2 - робочий орган ґрунтообробної машини при взаємодії з РОГМ

Рисунок 1 – Розрахункова схема

Тиск ґрунту на поверхню робочого органу в довільній точці дорівнює:

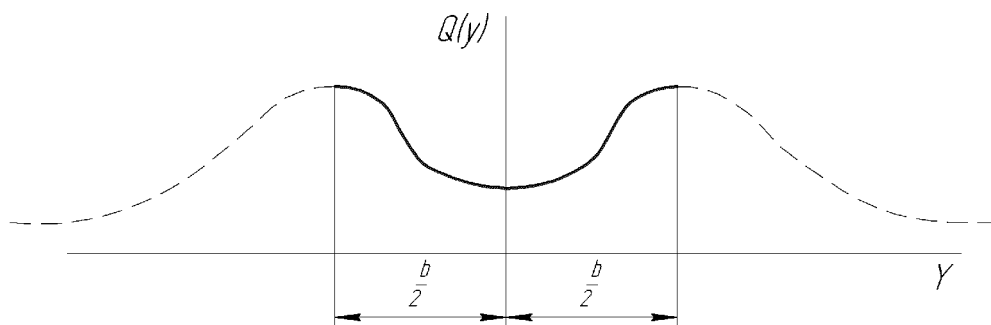
$$P_i = p_0 P(x) Q(y), \quad (2)$$

де  $p_0$  - тиск ґрунту у верхній середній точці РОГМ;  $P(x)$ ,  $Q(y)$  - функції, що описують закономірності розподілу сил по поверхні робочого органу в площинах  $XOz$  і  $YOz$ , тобто по його довжині і ширині.

Встановлено, що для РОГМ, в першому наближенні, розподіл тиску ґрунту по ширині можна описати функцією:

$$Q(y) = \frac{a_1 y^2}{(1 + \frac{a_1}{a_1 + 2} \cdot y^2)^2}, \quad (3)$$

де  $a$  - коефіцієнт, що визначається з початкових умов експериментальних досліджень.



$\frac{b}{2}$  - половина ширини робочого органу

Рисунок 2 – Розподіл тиску ґрунту по ширині РОГМ

Можна бачити, що характеристики  $Q(y)$  змінюються залежно від значень коефіцієнта  $a$ . Наявні симетрично розташовані екстремуми по осі  $OY$ , що свідчить про те, що даний процес обробки ґрунту протікає в умовах блокованого різання. Ґрунт зазнає значні навантаження на стиснення, в результаті яких відбувається його деформація. Саме по краях профілю лобової поверхні робочого органу відбувається відрив ґрунту від масиву. В даному випадку бічні грані робочого органу є концентраторами напруги. Тому функція досягає свого максимуму в крайніх точках профілю лобової поверхні робочого органу.

В результаті досліджень встановлено, що функція розподілу тиску по довжині робочого органу (рис. 3) підкоряється наступному закону:

$$P(x) = a_2 \cdot a_3 \cdot \exp(-a_3 x^{1/2}), \quad (4)$$

де  $a_2, a_3$  - коефіцієнти пропорційності, залежні від фізико-механічних властивостей ґрунту, що обробляється, і режимів обробки.

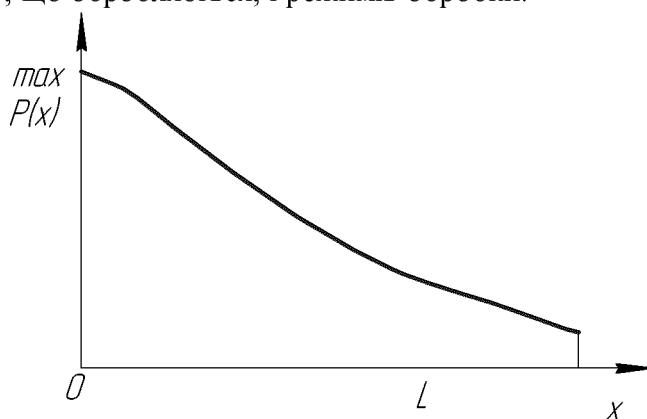


Рисунок 3 – Розподіл тиску ґрунту по довжині РОГМ

Отже, в точці з координатою, спостерігається глобальний максимум функції, при якому значення величини нормального тиску, що діє на лобову поверхню робочого органу є максимальним. Ґрунт ущільнений настільки, що швидкість переміщення частинок масиву ґрунту рівна швидкості різання.

Значення тиску змінюється по поверхні робочого органу залежно від фізико-механічних властивостей ґрунту і режимів його обробки від мінімального значення до величини, чисельно рівної максимальному значенню опору ґрунтів стиску:

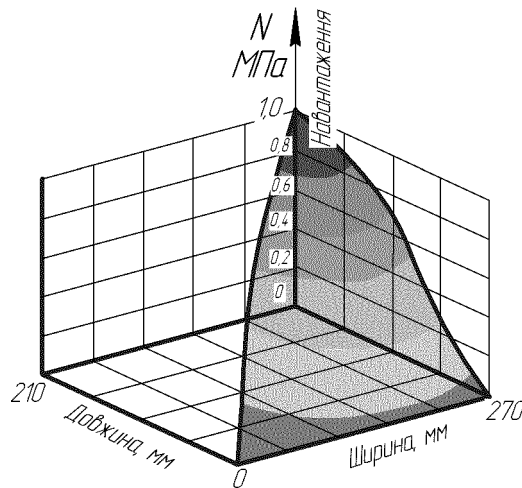
$$P_0^{\min} \leq P \leq \sigma_{\text{стиску}}. \quad (5)$$

Нормальна складова сили опору ґрунту при обробці РОГМ знаходиться інтегруванням по поверхні добутку функцій розподілу тиску по ширині і довжині:

$$N = \iint_a p_0 P(x) Q(y) d\sigma = \iint_a p_0 P(x) Q(y) dx dy, \quad (6)$$

де  $\sigma$  - площа контактної поверхні робочого органу.

В роботі побудована інтегральна математична модель процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом в тривимірному і аналітично отримана залежність просторового розподілу тиску по лобовій поверхні РОГМ в процесі взаємодії з ґрунтом (рис. 4)



а) наконечник зуба розпушувача при взаємодії з ґрунтом, б) різального елемента при взаємодії з ґрунтом

Рисунок 4- Просторова епіюра розподілу напруження на поверхню РОГМ

Можна бачити, що отримана модель не протиріч законам розподілу тиску ґрунту на РОГМ, як по ширині так і по довжині.

Таким чином, уточнену епіюру тиску ґрунту на поверхню РОГМ, можна побудувати, виходячи із реологічної моделі ґрунту, як середовища, що стискується та моделі контактної взаємодії РОГМ з ґрунтом. На прикладі стрілчатої лапи культиватора дано розподіл тиску ґрунту по ширині, довжині РОГМ та його просторовий розподіл.

## Список літератури

1. Аулін В.В. Характер та інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХДУ, 2004. – №2 – С.107-112
2. Аулін В.В. Зміна форми різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин в процесі зношування/ В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, О.Ю. Жулан // Праці Таврійської держ. агротехн. академії – Вип.40. – Мелітополь, ТДАТА, 2006. – С.5-11.
3. Кузнецова В.Н. Развитие научных основ взаимодействия контактной поверхности рабочих органов землеройных машин с мерзлыми грунтами: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.05.04 Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины/В.Н. Кузнецова – Омск, 2009. – 52с.
4. Николаева И.В. Реологические свойства дерново – подзолистых почв и черноземов при различном сельскохозяйственном использовании: Автореф. дис. канд. биол. наук: спец. 03.00.27 – “Почвоведение”/ И.В. Николаева – Москва, 2008. – 26 с.
5. Черновол М.І. Напружений стан різальних елементів деталей ґрунтообробних машин в процесі взаємодії з абразивним середовищем/ М.І.Черновол, В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Вісник інженерної академії України. – 2007. – №3-4. – С. 256-26

*В.Аулін, А. Тихий*

### **Учет реологических свойств почвы при их взаимодействии с РОГМ**

В статье проведен анализ элементов трибосистемы “почва - рабочий орган” при их контактном взаимодействии с учетом напряженно деформированного состояния и реологических свойств почвы.

*V. Aulin, A. Tikhyy*

## **The account of reological properties of soil at their contact with WOSM**

In the article the analysis of elements is conducted tribosistemi “soil is a working organ” at their contact co-operation taking into account the tensely deformed state and reologichnikh properties of soil.

Одержана 18.09.09