

**Аулін В.В.,  
Тихий А.А.**

Кіровоградський національний технічний  
університет,  
м. Кіровоград, Україна  
**E-mail:** [aulin52@mail.ru](mailto:aulin52@mail.ru)

## ВПЛИВ ЗМІНИ СТАНУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ НА ЗНОС РОБОЧИХ ОРГАНІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА РІЗНІЙ ГЛИБИНІ

УДК 621.891:631.31

Розглянуто зміну станів середовища ґрунту під час обробітку робочими органами ґрунтообробних машин. Показано, що окремі фази ґрунту по-різному чинять опір силовим діям РОГМ і впливають на деформацію ґрунту. Виявлено вплив зміни напружено-деформованого стану середовища ґрунту на характер і величину зносу самих робочих органів. Досліджено залежність зносу зразків і робочих органів від щільності твердої фази ґрунту, вмісту вологості та пористості.

**Ключові слова:** ґрунт, напружено - деформований стан, фазовий стан, агрегатний склад ґрунту, знос, пористість ґрунту, щільність твердої фази.

### Вступ

Насьогодні питання керування зносостійкістю РОГМ здійснюється в основному підвищенням фізико-механічних властивостей поверхонь тертя методами зміцнення та зміною геометричної форми РЕ [1 - 3], але недостатньо розглянуті питання керування процесами зношування РОГМ під час взаємодії з ґрунтом, як гетерофазним середовищем та зміні його властивостей і стану. Недостатньо уваги приділено питанню визначення характеристик середовища ґрунту, таких як щільність, пористість, агрегатний склад, які змінюються за глибиною поверхневого шару і суттєво впливають на величину та характер зносу РОГМ під час обробітку.

Під час дії РОГМ на ґрунт спостерігається зміна його стану, фізико-механічних властивостей, порушується початкова структура [4 - 6]. Вплив цих процесів на тертя і зношування РОГМ, виявлення напружено-деформованого стану (НДС) ґрунту і поверхневого шару матеріалу РОГМ, являються важливим при встановленні закономірностей взаємодії і керуванні триботехнічними характеристиками в специфічній трибосистемі "РОГМ - ґрунт".

Питаннями взаємодії РОГМ з ґрунтом, зношуванням їх робочих поверхонь займалися вчені М.М. Хрущов, М.А. Бабичев, В.М. Ткачов, А.Ш. Рабінович, А.Н. Розенбаум, Б.І. Костецький, І.Е. Ульман, М.М. Тененбаум, І.А. Ніловський та ін. Виявлено, що під час взаємодії ґрунту з РОГМ, задіяний пласт ґрунту залежить як від типу РОГМ, так від типу і властивостей ґрунту.

Залишається не розкритим питання розподілу характеристик та властивостей ґрунту за глибиною, при обробітку різними типами РОГМ. Дослідження зміни властивостей та агрегатного складу, розподілу НДС, твердості та пористості за глибиною поверхневого шару ґрунту дасть можливість виявити протікання процесів тертя і зношування під час взаємодії РОГМ з ґрунтом.

### Мета і постановка задачі

Метою даної роботи є виявлення впливу зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів ґрунтообробних машин, що працюють на різній глибині.

Однією з важливих задач експериментальних та теоретичних досліджень є виявлення змін властивостей та напружено-деформованого і агрегатного стану середовища ґрунту, з урахуванням його щільності, вологості і пористості в процесі взаємодії з РОГМ на різній глибині та їх впливу на величину і характер зносу РОГМ.

### Виклад матеріалів досліджень

Ґрунт – це складна поліфункціональна, полідисперсна, чотирифазна, гетерогенна, відкрита структурна система [7], яка знаходиться в стані постійного обміну речовиною й енергією з навколишнім середовищем. Ця обставина повинна бути вирішальною в створенні систем землеробства, конструюванні і створенні СГТ.

Розрізняють напружено - деформований, агрегатний, елементний, фазовий стани. З їх характеристикою безпосередньо зв'язують щільність, пористість, фазовий та агрегатний склад, розподіл напружень за глибиною.

Розглянемо зміну характеристик ґрунту за глибиною їх обробітку, використовуючи такі РОГМ як одностороння лапа і щілиноріз, що мають різальні елементи і призначенні для обробітку на різній

глибині [4]. В першу чергу це стосується щільності ґрунту, як інтегрального показника його стану, та пористості.

Проведені експериментальні дослідження методом ріжучого кільця показали, що щільність важкосуглинного ґрунту становить 1,2 ... 1,3 г/см<sup>3</sup>. Характер зміни щільності та пористості ґрунту за глибиною поверхневого шару наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Зміна щільності та пористості важкосуглинного ґрунту за глибиною поверхневого шару при вологості  $W = 12\%$**

Глибина відбору проб ґрунту, м	Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>		Пористість, %	
	до обробітку	після обробітку	до обробітку	після обробітку
Обробіток односторонньою лапою 0,10 ... 0,15 м				
0 ... 0,10	1,23	0,738	52,93	28,58
0,10 ... 0,20	1,28	0,806	51,27	28,71
0,20 ... 0,30	1,31	0,887	48,89	25,42
0 ... 0,30 (середнє)	1,27	0,81	51,03	27,57
Обробіток щілинорізом 0,30 ... 0,35 м				
0 ... 0,10	1,23	0,75	53,1	30,27
0,10 ... 0,20	1,26	0,79	51,9	29,17
0,20 ... 0,30	1,29	0,83	50,2	29,12
0,30 ... 0,40	1,31	0,86	48,4	28,47
0 ... 0,30 (середнє)	1,26	0,79	51,73	29,52

Виявлено, що у процесі тривалого сільськогосподарського використання орних земель відбувається ущільнення ґрунту за глибокою і полицевою обробками [8]. Плоскорізний обробіток (одностороння лапа) менше ущільнює ґрунт, а у шарі 10 ... 15 см відмічалось навіть його розпушення. Зі збільшенням кількості обробітку ґрунту РОГМ найбільше ущільнення ґрунту спостерігалось у шарі 20 ... 30 см, а при обробітку щілинорізом – на 30 ... 35 см.

Пористість ґрунту меншою мірою змінювалась за плоскорізного обробітку порівняно з обробітком на різну глибину. Так, за плоскорізного обробітку на глибину 30 ... 32 см щільність ґрунту в цьому шарі зросла на 0,05 ... 0,09 г/см<sup>3</sup>, тоді як за мілкого обробітку на глибину 12 ... 14 см відмічено найбільше зростання щільності ґрунту, відповідно на 0,14 г/см<sup>3</sup>, що є наслідком формування підшви при обробітку РОГМ.

Загальна пористість ґрунту в процесі тривалого використання розпушування дещо зменшувалась, тоді як за плоскорізного обробітку залишалась стабільною і дорівнювала 52 %. Так, за обробітку на глибину 30 ... 35 см пористість в оброблюваному шарі зменшилась на 1,7 %.

Дані структурно-агрегатного стану важкосуглинного ґрунту, під час дії односторонньої лапи і щілинорізу наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Агрегатний склад важкосуглинного ґрунту при сухому просіюванні (%)**

Глибина відбору проб ґрунту, м	Розподіл ґрунту за агрегатним складом, %		
	розміри фракцій ґрунту, мм		
	< 0,25	0,25 ... 10	> 10
Обробіток односторонньою лапою на глибину 0,10 ... 0,15 м			
0 ... 0,10	11,14	68,03	21,32
0,10 ... 0,20	10,84	74,96	15,32
0,20 ... 0,30	12,06	81,23	7,84
0 ... 0,30 (середнє)	11,35	74,74	14,82
Обробіток щілинорізом на глибину 0,30 ... 0,35 м			
0 ... 0,10	10,73	68,43	21,74
0,10 ... 0,20	10,83	67,97	22,59
20 ... 30	12,64	76,12	12,68
0 ... 30 (середнє)	11,40	70,80	19,01

Можна бачити, що кількість агрегатів розмірами 0,25 ... 10,0 мм в оброблюваному горизонті ґрунту практично не залежить від обробітку ґрунту і змінюються у межах 68 ... 81 %.

Збільшення щільності грудок, що можуть утворитися при обробітку, відбувається у зв'язку з тим, що в процесі взаємодії РОГМ з ґрунтом в нижніх шарах утворюється ядро ущільнення. Ущільнене ядро в процесі взаємодії видавлюється між ґрунтом і робочим органом і спостерігається постійний підйом ущільненого шару ґрунту на поверхню під час руху робочого органу. Щільність в ядрі ущільнення в 1,3 ... 1,5 разів вище, ніж в непорушеному шарі ґрунту. Ядро ущільнення і ущільнений шар ґрунту є основними чинниками утворення перед поверхнею робочих органів ущільнених грудок і локальної області. Утворення переущільнених глиб вимагає додаткового кришення ґрунту, а отже і витрат додаткової енергії.

За розробленою установкою та методикою вимірювання напруження в локальних областях горизонтальній та вертикальній площині відносно різальних елементів РОГМ [9].

В шарах ґрунту прилеглих до робочих поверхонь РОГМ визначали розподіл напружень з відстанню від робочої поверхні односторонньої лапи (рис. 1) та щілинорізу (рис. 2).

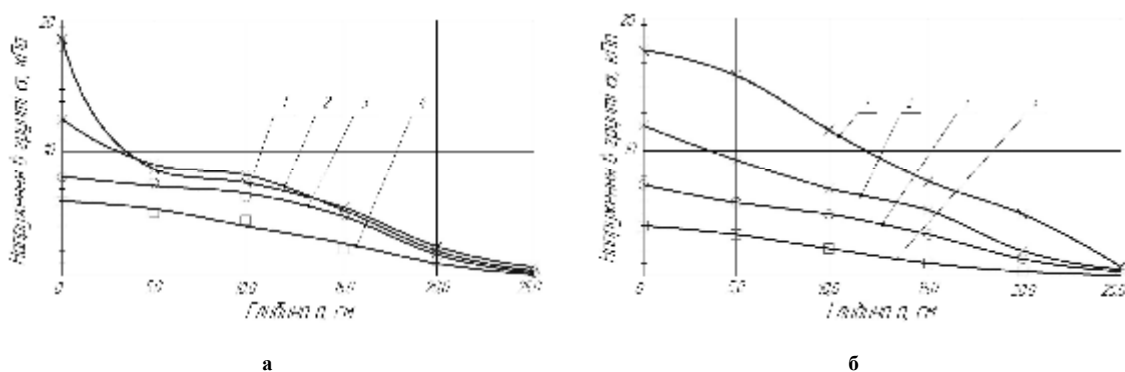


Рис. 1 – Залежність величини напружень в горизонтальній площині з відстанню від носку та середини РЕ односторонньої лапи на різній глибині:  
1 – 5 см; 2 – 10 см; 3 – 15 см; 4 – 20 см

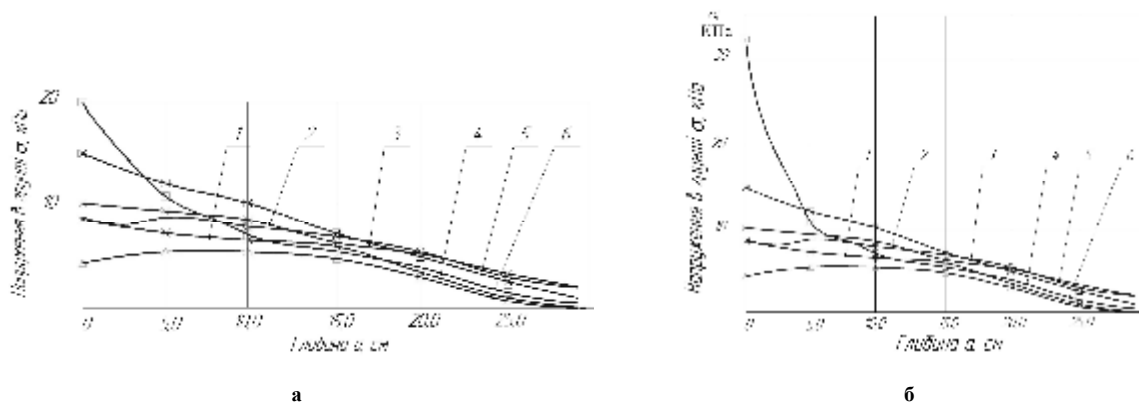


Рис. 2 – Залежність величини напруження перед серединою вертикального та горизонтальним РЕ щілинорізу на різній його глибині:  
1 – 5 см; 2 – 10 см; 3 – 15 см; 4 – 20 см; 5 – 25 см; 6 – 30 см

Експериментальні результати свідчать, що закономірності розподілу величини напруження в ґрунті з відстанню від робочої поверхні РОГМ залежать як від типу РОГМ, так і глибини шару ґрунту.

Результати дослідження розподілу напружень в ґрунті при його взаємодії з РОГМ дозволили виявити наступне:

- в зоні розпушування і зоні пружних і пластичних деформацій закони розподілу напружень аналогічні і мають вигляд експоненціальних кривих;
- в зоні розпушування криві напруження спадають крутіше в порівнянні з кривими в зоні пружних і пластичних деформацій;
- ізобари розташовуються симетрично по відношенню до нормалі, що проходить через центр симетрії різальної поверхні РОГМ;
- у вертикальних площинах, співпадаючих з нормаллями, напруження розподіляються нерівномірно;

- величина напружень і характер їх залежності від глибини різання визначаються відстанню від осі щілини, що прорізається в ґрунті.

- елементи шару ґрунту, прилеглого до РОГМ, на різній глибині знаходяться в різних умовах деформації.

Неоднаковий напружений стан ґрунту в зоні розпушування і зоні пружних і пластичних деформацій породжується відмінністю в характері переміщення структурних агрегатів, а отже і відмінністю характеру і величини зношування робочих поверхонь РОГМ. На підставі проведених досліджень встановлено, що в зоні розпушування ґрунт підводиться та видавлюється до відкритої поверхні, а у зоні пружних і пластичних деформацій - запресовується в стінки вирізуваної борозни.

Результати дослідження величини і характеру зношування стандартних односторонніх лап та щілинорізів на круговому стенді свідчать про залежність їх від типу ґрунту, їх властивостей і характеристик, співвідношення фазових складових та розподілу напружень в ґрунті. Залежність зносу РЕ від величини напруження в шарі ґрунту прилеглому до РОГМ з урахуванням зміни вологості наведено на рис. 3.

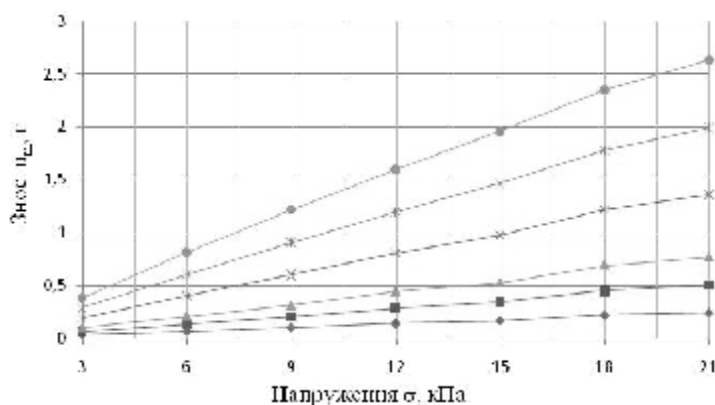


Рис. 3 – Залежність зносу горизонтального РЕ щілинорізу:

1 –  $W = 14\%$ ; 2 –  $W = 10\%$ ; 3 –  $W = 10\%$ ;

носу односторонньої лапи:

4 –  $W = 14\%$ ; 5 –  $W = 10\%$ ; 6 –  $W = 10\%$  від величини напруження ґрунту в чорноземі звичайному при шляху тертя;  $L = 8,52$  км та швидкості  $v = 1,4$  м/с

Виявлено, що знос РЕ РОГМ при збільшенні величини напруження ґрунту збільшується, а при зміні вологості – зафіксована неоднозначна залежність, яка безпосередньо визначається величиною вологості на протікання процесів в ґрунті, особливо тертя і зношування.

Залежність зносу зразків РЕ РОГМ від пористості ґрунту та шляху тертя наведено на рис. 4.

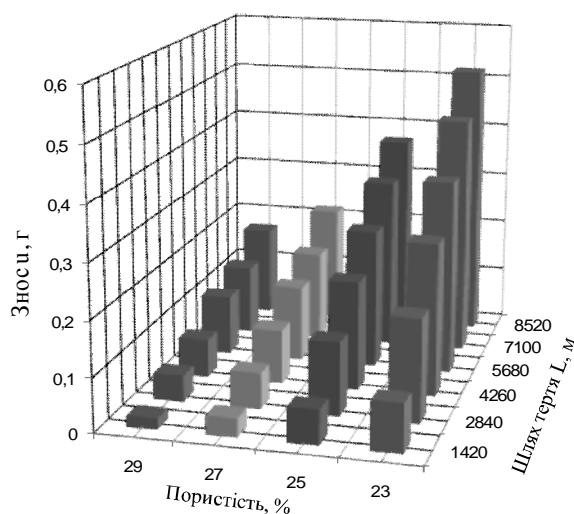


Рис. 4 – Зміна зносу РЕ РОГМ в залежності від пористості ґрунту та шляху тертя на круговому стенді:

$W = 10\%$ ;  $p = 0,1$  МПа,  $v = 1,4$  м/с

На лабораторному стенді [5] досліджували ґрунт, який містив 2 % гумусу, пористість ґрунту при цьому змінювали в межах 23 ... 29 % за допомогою зміни кількості проходів катка.

Найбільше значення зносу спостерігається при пористості ґрунту 23 % і найменше при пористості 29% тобто знос зменшувався в 2,0 ... 3,3 рази. Це пояснюється зміною щільності твердої фази ґрунту, а отже і кількості абразивних частинок в одиниці об'єму ґрунту. При зменшенні пористості ґрунту також знижується частота взаємодії абразивних частинок з робочою поверхнею деталей РОГМ. Отже пористість є впливовим фактором, який істотно змінює величину зносу РЕ РОГМ. Визначена залежність пористості за глибиною свідчить про те, що цей фактор слід враховувати при виборі виду обробітку ґрунту.

У глинистих ґрунтах волога відіграє роль мастила на поверхні тертя [7, 8]. Якщо врахувати, що зношування тут являє процес, при якому руйнування і відділення матеріалу, що утворює фрикційний зв'язок, відбуваються внаслідок багатократного його порушення, то можна зробити висновок, що із збільшенням вологості ґрунту сили фрикційних зв'язків зменшуються, отже, зменшується видалення найдрібніших об'ємів металу з поверхні тертя. Зазначеним можна пояснити і характер зміни зносу від вологості із зміною механічного складу ґрунтів. Взято п'ять ґрунтів, що мають різну щільність твердої фази: 1 – 2,72 г/см<sup>3</sup>; 2 – 2,60 г/см<sup>3</sup>; 3 – 2,58 г/см<sup>3</sup>; 4 – 2,54 г/см<sup>3</sup>; 5 – 2,51 г/см<sup>3</sup>.

Результати досліджень зносу РЕ РОГМ від щільності твердої фази і рівня вологості ґрунту представлені на рис. 5 - 6.

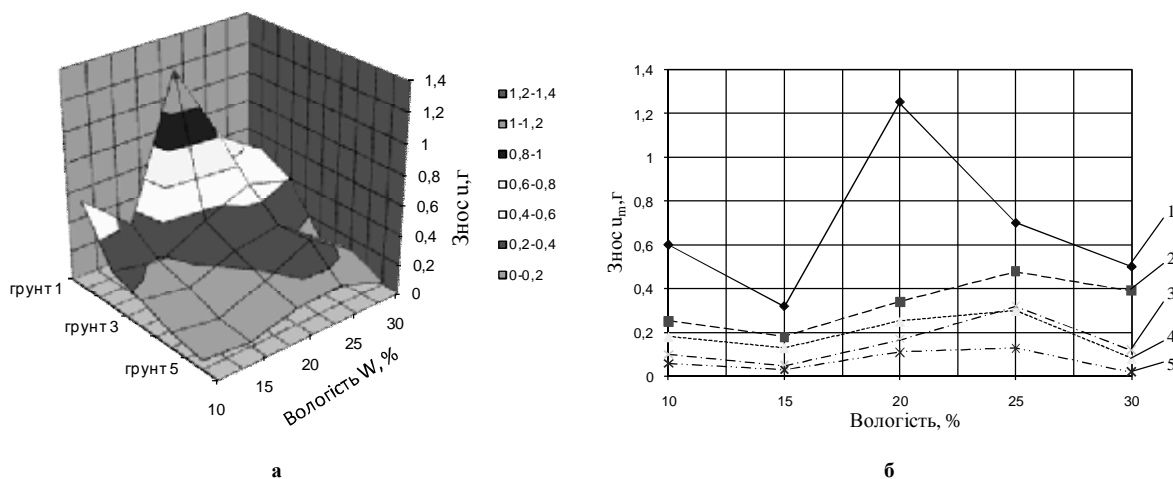


Рис. 5 – Зміна зносу РЕ РОГМ залежно від ґрунтів, що мають різну щільність твердої фази та вологості (а):  $v_w = 2\%$ ;  $p = 0,1$  Мпа;  $v = 1,4$  м/с;  $L = 8,52$  км та фіксована щільність твердої фази (б): 1 – 2,72 г/см<sup>3</sup>; 2 – 2,60 г/см<sup>3</sup>; 3 – 2,58 г/см<sup>3</sup>; 4 – 2,54 г/см<sup>3</sup>; 5 – 2,51 г/см<sup>3</sup> на круговому стенді (шлях тертя  $L = 8,52$  км)

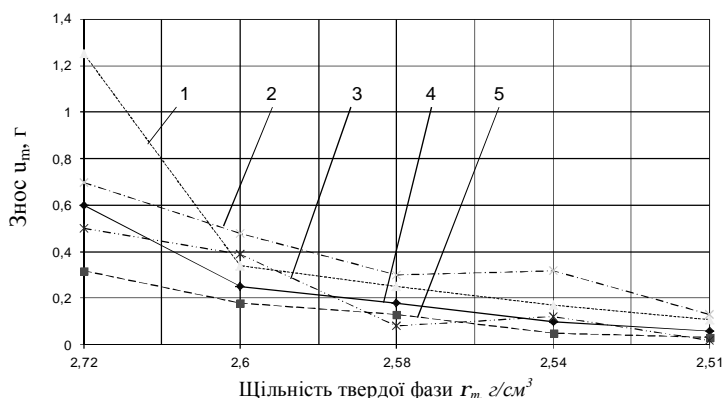


Рис. 6 – Зміна зносу РЕ РОГМ залежно від щільності твердої фази при фіксованій вологості ґрунту: 1 – 20 %; 2 – 25 %; 3 – 30 %; 4 – 10 %; 5 – 15 % та шляху тертя  $L = 8,52$  км

Можна бачити, що залежності подані на рис. 5, б мають складний характер, тобто для всіх фіксованих рівнів щільності ґрунту спостерігається мінімум зносу при вологості 15 %, але максимум зносу при максимальній щільності твердої фази спостерігається при вологості 20 %. Для решти рівнів щільності твердої фази – максимум зносу спостерігається при 25 %, тобто закономірність неоднозначна і

залежить від механічного складу ґрунту. Що стосується зміни зносу РЕ РОГМ від щільності твердої фази при фіксованій вологості, то спостерігається експоненціальна залежність зменшення величини зносу при зменшенні щільності твердої фази ґрунту.

Характер нахилу експоненти відповідає рівню вологості ґрунту. Таким чином, закономірність залежності зносу, швидкості зношування на різних ґрунтах, при різному напрацюванні і різній щільності твердої фази неоднозначна, оскільки існує багато впливових факторів залежних від стану, складу і структури ґрунту, так і матеріалу РЕ РОГМ.

Разом з тим, виявлено що для кожного ґрунту існує рівень вологості, при якому знос РЕ РОГМ буде мінімальним.

Для підвищення зносостійкості РОГМ можуть бути застосовані сучасні прогресивні технології, наприклад, представлені в [10].

### Висновки

Показано, що при обробітку односторонньою лапою і щілинорізом розподіл щільності ґрунту і його пористості різний. Ці показники залежать і від попереднього обробітку, коли значне зростання щільності у шарі 0,20 ... 0,30 м не залежало від основного обробітку, але величина зростання спостерігалась різною. Твердість ґрунту після обробітку щілинорізом в поверхневих шарах на глибині 0 ... 0,10 м зменшується в 1,7 ... 1,9 рази, а при обробітку односторонньою лапою – в 1,5 ... 1,6 рази. Змінюється характер розподілу твердості за глибиною поверхневого шару ґрунту, що суттєво впливатиме на процеси тертя і зношування РОГМ.

Виявлено, що під час взаємодії ґрунту з РОГМ у випадку односторонньої лапи, задіяний пласт ґрунту менший за товщиною, ніж у випадку щілинорізу.

Значна концентрація напружень приходить саме в області носку односторонньої лапи і на зону дії долота щілинорізу, де відбувається сколювання пласту ґрунту, а отже спостерігається максимальний знос. Показано, що розподіл напружень, щільності твердої фази, пористості по глибині обробітку РОГМ істотно впливають на величину і характер зносу РЕ РОГМ. Що стосується впливу вологості ґрунту на знос РОГМ, то її вплив взаємообумовлений зв'язком багатьох факторів, а отже спостерігається неоднозначна залежність.

### Література

1. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин / Б.И. Костецкий. – К.: Знание, 1984. – 20 с.
2. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев, Г.П. Каплун, В.А. Короткевич. – Л.: Колос, 1972. – 288 с.
3. 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.
4. Аулін В.В. Закономірності взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом в процесі його обробітку / В.В. Аулін, А.А. Тихий / Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 2. – С. 144-149.
5. Аулін В.В. Фазовий склад ґрунтового середовища та його зношувальні властивості / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2009. – № 2 – С. 91-99.
6. Аулін В.В. Зношувальна здатність ґрунтового середовища та закономірності спрацювання деталей РОГМ / В.В. Аулін, М.І. Черновол, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2010. – № 2 – С. 6-10.
7. Панов А.И. Физические основы механики почвы / А.И. Панов // Науч.тр. ВИМ. – Т.131. – 2000. – С. 46-51.
8. Качинский П.А. Почва, ее свойства и жизнь / П.А. Качинский. – М.: Наука, 1975. – 295 с.
9. Аулін В.В. Закономірності зміни напружено - деформованого стану ґрунтового середовища при дії на нього робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, А.А. Тихий, О.Д. Мартиненко / Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сільс. госп. ім. П.Василенка. – Вип. 118. – Харків, 2011 – С. 263-267.
10. Radek N., Konstanty J.: Cermet ESD coatings modified by laser treatment. Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 57, Issue 3, (2012), pp. 665-670.

Поступила в редакцію 08.02.2013

**Aulin V., Tikhii A. Influence of condition changing and properties of soil on deterioration of working organs, which are working at different operating depth.**

The changes of state of the environment during processing soil by working organs of tillage machines. It is shown that the individual phases of soil differently resist WOTM of force and influence on the deformation of the soil. The dependence of the wear patterns and the working bodies of the density of the solid phase in the soil moisture content and porosity of the soil environment. The effect of changes in the state and properties of the soil on the wear of the working bodies of tillage machines operating at different depths. Found that, in the long process of agricultural cropland soil is compacted with a deep and regimental treatments. Were used for such as WOTM of sliter and unilateral flat paw. Soil porosity changes with less flat processing compared to processing at different depths. Increase in the density of lumps that may form during processing, is due to the fact that in the process of interaction with the soil WOTM in the lower forms the core compaction. The core of compaction and compacted soil are key to the formation of the working surface of compacted clods and the local area, which adds to the crumbling of the soil, and thus the cost of additional energy. The distribution of stress with distance from the working surface of the foot and one-sided sliter in surface soils adjacent to the working surfaces WOTM. Studies have shown that the value of the distribution of stress in the soil with the distance from the working surface WOTM depend both on the type of WOTM and depth of topsoil. Results of the study the size and nature of the standard one-sided wear pads and a circular stand slitters show their dependence on the type of soil, their properties and characteristics, and the ratio of the phase components of the stress distribution in the soil. Proved that the porosity of the soil is an influential factor that significantly alters the wear CE WOTM. This relationship suggests that the choice of type of treatment should take into account the porosity of the soil, and therefore its previous treatment. The regularity of wear CE WOTM changes the density of the solid phase at a fixed moisture content, that is, there is an exponential dependence of the wear decrease with decreasing density of the solid soil.

**Keywords:** soil, stress-strain state, the phase state of aggregation of the soil, wear, soil porosity, the density of the solid phase.

**References**

1. Kostetskii B.I. Upravlenie iznashivaniem mashin, Kiev: Znanie, 1984, 20 p.
2. Severnev M.M., Kaplun G.P., Korotkevich V.A. Iznos detalei sel'skokhoziaistvennyh mashin, L.: Kolos, 1972, 288 p.
3. Aulin V.V., Bobryts'kyj V.M. Kharakter ta intensyvnist' znoshuvannia robochych organiv gruntoobrobnyh mashyn, Problemy trybologii (Problems of tribology). Khmel'nyts'kyi, KhNU, 2004, No2, pp.107-112.
4. Aulin V.V., Tikhii A.A. Zakonomirnosti vzaiemodii robochych organiv gruntoobrobnyh mashyn z gruntom v protsesi jogo obrobittku, Visnyk inzhenernoii akademii Ukrainy, 2011, No 2, pp.144-149.
5. Aulin V.V., Bobryts'kyi V.M., Tikhij A.A. Fazovyi sklad gruntovogho seredovyscha ta jogo znoshuval'ni vlastyivosti, Problemy trybologii (Problems of tribology), Khmel'nyts'kyi, KhNU, 2009, No2, pp.91-99.
6. Aulin V.V., Chernovol M.I., Tikhii A.A. Znoshuval'na zdatnist' gruntovogo seredovyscha ta zakonomirnosti spratsiuvannia detalei ROGM, Problemy trybologii (Problems of tribology), Khmel'nyts'kyi, KhNU, 2010, No2 pp.6-10.
7. Panov A.I. Fizicheskie osnovy mehaniki pochvy, Nauch.tr, VIM, 2000, No 131, pp. 46-51.
8. Kachinskii P.A. Pochva, ee svoistva i zhizn', M.: Nauka, 1975, 295 p.
9. Aulin V.V., Tikhii A.A., Martynenko O.D. Zakonomirnosti zminy napruzhenno-deformovanogho stanu gruntovogho seredovyscha pry dii na niogo robochikh orghaniv gruntoobrobnykh mashyn, Visnyk Kharkivs'kogho nats.. tekhn.. un-tu sil's. ghosp. im.. P.Vasilenka, Kharkiv, 2011, No 118.
10. Radek N., Konstanty J.: Cermet ESD coatings modified by laser treatment. Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 57, Issue 3, (2012), pp. 665-670.