

The work presents the expedience of carrying out deep soil loosening by chiselling weeders at the stage of the basic soil tilling in order to keep moisture, to break compacted subsoil and to decrease mechanic influence on agro-technical machines. As a result this will provide the deceleration of the soil unstructuralizing processes. We reviewed the designs of chisel leg plows that can provide effective process of soil loosening under which it is a necessity to combine vertical and horizontal drivers in one working part. The analysis of the efficiency of soil crushing relating to its depth and depending on the consecutive influence of different sets of working parts used in the combined chisel weeder was presented.

As a result of the carried out work we proved experimentally the efficiency of application of the combined chisel equipment with additional horizontal drivers and tooth rollers.

**soil, chisel soil tilling, tooth roller, wings, leg plow, qualitative indicator of tilling**

Одержано 09.11.15

**УДК 621.891:631.31**

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, А.А. Тихий, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,  
tihiy-andrey@mail.ru*

**В.А. Войтов, проф., д-р техн. наук**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, м.Харків, Україна*

## **Фізичні аспекти взаємодії в системі "РОГМ-грунт"**

В статті розроблена функціональна модель процесу взаємодії РОГМ з середовищем ґрунту. Представлені процеси тертя та зношування в ґрунті, які реалізуються на фоні взаємообміну показників самого РОГМ із середовищем ґрунту і являють собою складну сукупність фізико-хімічних явищ.

При розгляді закономірностей взаємодії в ТТС "РОГМ-грунт" враховується як зовнішня структура, так і внутрішня будова. Показано зміну елементного складу прилеглих до РОГМ шарів ґрунту, що свідчить про процеси масопереносу і сегрегації під час взаємодії в ТТС "РОГМ-грунт".

Представлені закономірності протікання процесів тертя і зношування РОГМ в залежності від його структурованості та гранулометричного складу. Досліджено стан ґрунту при дії РОГМ, визначено розподіл його щільності за глибиною оброблюваного шару, за типами ґрунтів виявлено різний характер розподілу щільності, структури, пористості та вмісту гумусу за глибиною, отримано рівняння регресії між щільності ґрунту і вмістом гумусу.

**функціональна модель, триботехнічна система, напруження, елементний склад, контакт, структура ґрунту, знос, робочий орган ґрунтообробної машини**

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, А.А. Тихий, доц., канд. техн. наук**

*Кіровоградський національний технічний університет, г.Кіровоград, Україна*

**В.А. Войтов, проф., д-р техн. наук**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, г.Харків, Україна*

**Физические аспекты взаимодействия в системе "РОПМ-почва"**

В статье разработана функциональная модель процесса взаимодействия РОПМ со средой почвы. Представлены процессы трения и износа в почве, которые реализуются на фоне взаимообмена показателей самого РОПМ со средой почвы и представляют собой сложную совокупность физико-химических явлений. При рассмотрении закономерностей взаимодействия в ТТС "РОПМ-почва" учитывается как внешняя структура, так и внутреннее строение. Показано изменение элементного состава прилегающих к РОПМ слоев почвы, что свидетельствует о процессах массопереноса и сегрегации во время взаимодействия в ТТС "РОПМ-почва".

Представленне закономірності протекання процесів трення і изнашивання РОПМ в залежності від його структурованості і гранулометричного складу. Досліджено стан ґрунту при впливі РОПМ, визначено розподіл його щільності по глибині оброблюваного шару, по типам ґрунтів виявлено різний характер розподілу щільності, структури, пористості і вмісту гумусу по глибині, отримано рівняння регресії між щільністю ґрунту і вмістом гумусу.

**функціональна модель, триботехнічна система, напруження, елементний склад, контакт, структура ґрунту, знос, робочий орган ґрунтообробної машини**

**Постановка проблеми.** Створення високоефективних робочих органів ґрунтообробних машин (РОГМ) та розробка методів їх технічного обслуговування (ТО) вимагає більш глибокого дослідження взаємодії в системі РОГМ-ґрунт та фізичних процесів, що їй супроводжують. Особлива увага приділяється різальним елементам (РЕ) РОГМ. Фізичне розуміння і математичний опис деформації і руйнування ґрунту відкривають перспективи створення математичних, технологічних та інших моделей теорії тертя та зношування РЕ РОГМ. Першочергове значення при цьому має опис процесу впливу РОГМ на ґрунт, а також руйнування, переміщення і перемішування структур середовища ґрунту. Процеси тертя та зношування в ґрунті реалізуються на фоні взаємобміну показників самого РОГМ із середовищем ґрунту і являють собою складну сукупність фізико-хімічних явищ. Ці процеси розглядають з точки зору трибофізичного підходу до природи і механізму їх прояву, а також еволюції розвитку з позиції термодинаміки нерівноважних та незворотних процесів. В контактній та приконтактній зонах взаємодії РЕ РОГМ з ґрунтом відбуваються структурно-енергетичні зміни. Дослідження енергетичних характеристик руйнування поверхневих шарів РЕ РОГМ ускладнюється впливом на їх стан багатьох одночасно протікаючих і конкуруючих синергетичних перехідних процесів, в результаті яких проявляються специфічні поверхневі ефекти, обумовлені взаємодією поверхні РЕ РОГМ з середовищем ґрунту та обміном потоками енергії та речовини.

Разом з тим, експериментальні дослідження зміни накопичення енергії поверхневими шарами РОГМ в процесі зношування практично не проводилися - не було відповідних методик і технічних засобів. Традиційні термокінетичні методи оцінки енергії активації руйнування матеріалів є тривалими, трудомісткими і не придатними для дослідження тонких, модифікованих тертям поверхневих шарів, що стало серйозною перешкодою для широкого застосування в трибології енергетичних критеріїв міцності і розрахункових моделей зношування кінетичного типу. З тієї ж причини відсутні систематизовані дані про активаційні параметри руйнування матеріалів РЕ РОГМ при різних механізмах пошкоджуваності. Тим часом, при оцінці зносостійкості та ефективності ресурсопідвищуючих технологій обробки ґрунту, дослідження якості покриттів і визначення їх довговічності в полі діючих навантажень і температур, енергетичні показники можуть бути більш інформативними в порівнянні з силовими і деформаційними критеріями. Найважливішим практичним завданням при цьому є широке впровадження кінетичного підходу до опису пошкоджуваності і руйнування матеріалів РЕ РОГМ і розробка доступних методик оцінки активаційних параметрів їх руйнування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** показав, що до цього часу не розроблена трибофізична теорія процесів обробки ґрунту, яка б враховувала структурно-енергетичні зміни в зоні взаємодії РЕ з ґрунтом. Результати дослідження по теорії руйнування ґрунту, запропоновані В.П. Горячкиним, ґрунтуються на представленні ґрунту як суцільного середовища з ізотропними властивостями і не відображають будови і властивостей реального ґрунту. Системні дослідження процесів різання ґрунтів землерийними машинами, проведені М.Г. Домбровським, І.Я. Айзенштоком, Ю.А. Ветровим, А.Н. Зеленим та ін., дали можливість більш глибоко дослідити механіку

грунтів, однак механіка ґрунтів базується в основному на ідеалізованих методах суцільного середовища.

Значний внесок у розвиток основних питань теорії механічної обробки ґрунту внесли праці М.Х. Пігулевської, Г.І. Покровського, В.В. Кацігіна, А.Н. Гудкова, Г.Н. Сінеокова, В.А. Желіговського, Т.М. Гологурського, А.С. Кушнар'ова. В.В. Ауліна та ін.

**Метою роботи** є розробка трибофізичного підходу до виявлення процесів і станів в зоні контакту елементів трибосистеми "РОГМ-ґрунт" з врахуванням структурно-енергетичних змін трибопроцесу.

**Виклад основного матеріалу.** У загальному випадку процес взаємодії РОГМ з середовищем ґрунту можна представити у вигляді функціональної моделі (рис. 1).

Модель містить наступну сукупність параметрів:

– вхідні:  $X_1$  – тип ґрунту (глинистий, суглинний, піщаний, супіщаний) та його зношувана здатність;  $X_2, X_3$  – характеристики і властивості ґрунтів матеріалу РОГМ;  $X_4$  – спосіб та варіант зміцнення та модифікування матеріалу РОГМ;

– керуючі:  $Z_1$  – сукупність умов та технологічних параметрів обробки ґрунту;  $Z_2$  – конструктивні параметри РОГМ;  $Z_3$  – конструктивна схема обробки (глибина  $a$ , ширина захвату  $b$ );  $Z_4$  – співвідношення фаз ґрунту;

– вихідні:  $Y_1$  – сукупність триботехнічних характеристик робочих поверхонь РОГМ;  $Y_2$  – напружено-деформований стан (НДС) і структура ґрунту;  $Y_3$  – НДС і структура поверхневого шару (ПШ) матеріалу РОГМ;  $Y_4$  – енергетичні характеристики процесу взаємодії РОГМ з ґрунтом.

Модель можна розглядати як операторне перетворення:

$$\vec{X} \xrightarrow[\vec{Z}]{w(\vec{x})} \vec{Y}, \quad (1)$$

де  $\vec{X}, \vec{Y}, \vec{Z}$  – вектори вхідних, вихідних параметрів та умов функціонування ТТС;

$w(\vec{x})$  – оператор, що характеризує передачу енергії в ТТС "РОГМ-ґрунт". Критерієм оцінки ефективності роботи РОГМ виступають: НДС, ПШ ґрунту, сукупність триботехнічних характеристик, зносостійкість та тяговий опір.

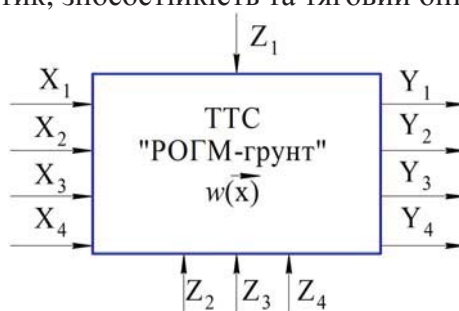


Рисунок 1 – Функціональна модель взаємодії ТТС "РОГМ-ґрунт"

*Джерело: розроблено авторами*

Для вивчення процесів взаємодії в ТТС [2] доцільно мати фізичну модель ґрунту, яка з достатнім ступенем точності, фізичної і математичної коректності описувала б явища, що протікають в ньому. Модель повинна з єдиних позицій розглядати НДС в об'ємі малих локальних областей, переходячи від них до НДС всієї області взаємодії, структуру, характеристики та властивості ґрунту й на її основі отримувати рівняння його стану. Саме структура, стан і співвідношення фазових складових ґрунту визначають

фізичну сутність процесів тертя та зношування РОГМ і прояв властивостей ґрунту як властивостей в'язких, пружних та крихких матеріалів. Через змінність характеристик та властивостей ґрунту для ефективної взаємодії з РОГМ необхідний його сприйнятливий НДС [5].

Оскільки зміна властивостей ґрунту, під час дії РОГМ, передусім проявляється у зміні щільності в деформованому об'ємі, то є необхідність у розгляді його як середовища змінної маси. Ця особливість враховується в рівнянні зв'язку щільності з динамічними і кінематичними характеристиками. Багаторівнева будова середовища ґрунту, різномасштабність актів його деформації і руйнування, тертя та зношування РОГМ, зумовлюють новий підхід до виявлення механізмів процесів і станів на основі фізики ґрунтів [3] та механіки дисперсних середовищ та руйнування.

Розглянемо стани та процеси, що відбуваються у ґрунті під час дії РОГМ. Розрізняють чотири складові фазового стану ґрунту: тверда, рідка, газоподібна і жива [3,8]. При цьому окремі частинки однієї фази, наприклад, твердої, є не молекулами, а агрегатами, що містять сукупність молекул. Середовище ґрунту має структуру просторового каркасу, утвореного зв'язками молекул, міцел, кристалічних паростків і частинок колоїдних розмірів, які мають характер сил Ван-дер-Ваальса. Якщо тверді частинки ґрунту, сполучені в агрегати, мають різну міцність зв'язків, то ґрунт буде структурованим [3,9]. Такий стан обумовлений сумісною дією хімічних, фізичних, реологічних і біологічних процесів під час дії РОГМ. При раціональному впливі властивості та характеристики ґрунту покращуються і реалізується стан самоорганізації.

Структурна організація ґрунту має елементарний, агрегатний та горизонтний рівні [4,6]. Структура ґрунту – це сукупність агрегатів різної величини, форми, пористості, механічної міцності і водоміцності [12]. При розгляді закономірностей взаємодії в ТТС "РОГМ-ґрунт" враховується як зовнішня структура, так і внутрішня будова, тобто досліджуються макропроцеси у ґрунті, розкривши його мікроструктуру. Системно-спрямований підхід дає можливість вважати ґрунти матеріалами трибо елементів. Зв'язок між структурою і властивостями ґрунту визначає його міцність і зношувану здатність. Це відображається на трибофізичній сутності контактної взаємодії основних фаз ґрунту між собою та з поверхнею РОГМ. Звісно вирішальне значення має тверда фаза, яка впливає на енергетику води, взаємодіє з газовою фазою і виступає своєрідною матрицею дисперсного середовища ґрунту з наповнювачами АЧ і частинками гумусу та формує комплекс основних характеристик і властивостей ґрунту.

Незважаючи на те, що фізика фаз ґрунту досліджується в землеробській механіці [11], закономірності їх взаємодії між собою і з матеріалом РОГМ ще недостатньо вивчені. Системно-спрямований підхід та синергетична концепція дають можливість їх виявити, розглядаючи середовище ґрунту як безліч впорядкованих і зв'язаних між собою локальних областей, що володіють єдністю [8,12]. На основі досягнень фізики твердої фази ґрунту, термодинаміки його вологи, фізики поверхневих явищ, фізико-хімічної механіки дисперсних середовищ [10] можна теоретично обґрунтувати механізм взаємодії, виявити умови реалізації стану самоорганізації ґрунту, оцінити зміну триботехнічних характеристик і властивостей, тягового опору РОГМ та визначити напрями підвищення їх зносостійкості.

Для енергетичної оцінки міжфазних взаємодій в ґрунті можна використати вільну енергію Гіббса [9]:

$$dG = T \cdot dS - dA, \quad (2)$$

де  $dS$  – ентропія;

$TdS$  – кількість теплової енергії,

$dA$  – кількість роботи. В умовах постійного тиску маємо рівняння:

$$dG = T \cdot dS - dA_k + pdV, \quad (3)$$

де  $dA_K$  – корисна робота зміни поверхні поділу  $dS_n$  між фазами ґрунту:

$dA_K = \sigma_H \cdot dS_n$ ,  $\sigma_H$  – коефіцієнт поверхневого натягу;

$p dV$  – робота розширення.

До корисної роботи можна віднести роботу, здійснювану молекулами води в полі поверхневих сил та по переміщенню ґрунту в гравітаційному полі.

Рівняння (3) при цьому набуває вигляду:

$$dG = T \cdot dS - \sigma_H \cdot dS_n + p dV. \quad (4)$$

Враховуючи присутність водної плівки на поверхні частинок ґрунту і зміну кривизни поверхні менісків в капілярах, зменшення поверхневої енергії  $\sigma_H \cdot dS_n$  при  $T = \text{const}$ , маємо:

$$dG = -\Delta p \cdot dV - \sigma_H \cdot dS_n, \quad (5)$$

де  $\Delta p$  – різниця тиску між складовими поділу "вода-повітря";

$dV$  – зміна об'єму "тіла обертання" менісків. Для стану рівноваги ( $dG=0$ ), отримаємо:

$$\Delta p = \pm \sigma_H \cdot dS_n / dV, \quad (6)$$

де  $dS_n / dV$  – кривизна поверхні поділу "вода-повітря".

Тиск в ґрунтовій волозі обумовлює різноманітні капілярні явища та виникнення сил притягання між окремими частинками [12]. Для частинок легких і слабозвожених (піщаних) ґрунтів характерним є "стиковий" розподіл вологи (рис. 2, а), а для сильно звожених – наявність водної плівки (рис. 2, б).

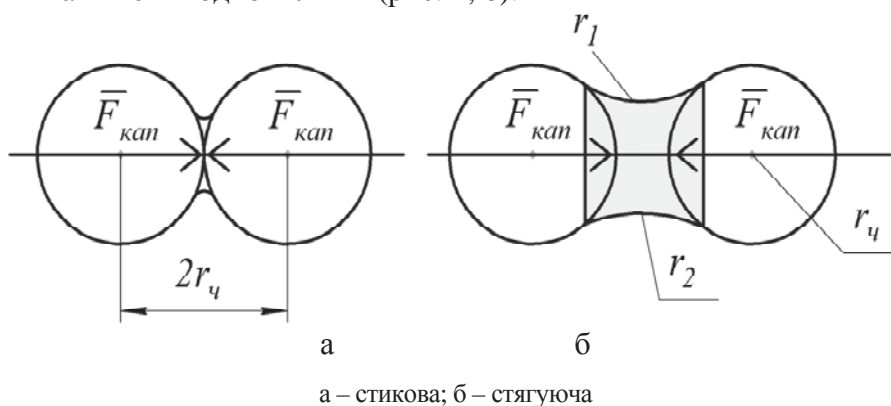


Рисунок 2 – Схеми розподілу вологи між частинками ґрунту

Величина капілярної стягуючої сили  $F_{кан}$  залежить від кількості вологи в зазорі між частинками (агрегатами) ґрунту та їх розмірів [3]:

$$F_{кан} = \Delta p S_{кан} = \pi r_1 \sigma_H (1 + r_1 / r_2), \quad (7)$$

де  $S_{кан} = \pi \cdot r_1^2$  – площа контактів;  $r_1$ ,  $r_2$  – радіуси кривизни опуклого і увігнутого менісків між контактуючими частинками радіусом  $r_ч$ . Сила (8) обумовлює енергію зв'язку між фазами ґрунту і визначає явища когезії усередині однієї фази та адгезії при взаємодії фаз [8]. При цьому під час дії РОГМ спочатку у ґрунті руйнуються найбільш слабкі капілярні, а потім поверхневі зв'язки.

Дослідження величини і характеру зношування РОГМ у ґрунті свідчить, що основними видами зношування є: абразивне – за ріжучою або дряпаючою дією абразивних частинок (АЧ); втомне – по руйнуванню при повторній деформації мікрооб'ємів матеріалу ПШ; окислюване – в результаті хімічної реакції з киснем середовища ґрунту і мікропластичної деформації ПШ. При цьому основним фактором є зношувана здатність ґрунту, що визначається відношенням величини зношування зразків



(деталей) в даних умовах середовища ґрунту до величини їх зношування в умовах, прийнятих за еталонні [4]. Абразивний знос складає переважно більшу частку, його швидкість дорівнює:

$$v_u = k_{азн} N_{mp} / S_{\kappa} K_u, \quad (8)$$

де  $k_{азн}$  – коефіцієнт пропорційності;  $N_{mp}$  – потужність тертя;  $S_{\kappa}$  – площа контакту АЧ з поверхнею РОГМ;  $K_u$  – коефіцієнт запасу зносостійкості:

$$K_u = E_u Q_{uet} / E_{uet} Q_u = \varepsilon_u / q_u, \quad (9)$$

де  $E_u$ ,  $E_{uet}$ ,  $Q_u$ ,  $Q_{uet}$  – зносостійкість і зношувана здатність досліджуваного та еталонного РОГМ та ґрунтів;  $\varepsilon_u = E_u / E_{uet}$ ,  $q_u = Q_u / Q_{uet}$  – відносні зносостійкість матеріалу РОГМ та зношувана здатність ґрунту.

Відносну зносостійкість можна оцінити за формулою [6]:

$$\varepsilon_u = \frac{E_u + k(H - H_{зм})}{E_{uet} + k_{em}(H_{em} - H_{зем})}, \quad (10)$$

де  $k$ ,  $k_{em}$ ,  $H$ ,  $H_{em}$ ,  $H_{зм}$ ,  $H_{зем}$  – коефіцієнти пропорційності та твердості незміцнених та зміцнених матеріалів для досліджуваних і еталонних РОГМ.

Величину зношувальної здатності можна представити, як добуток коефіцієнтів:

$$q_u = K_a K_p K_d, \quad (11)$$

де  $K_a$ ,  $K_p$ ,  $K_d$  – коефіцієнти, що враховують твердість, різальні та деформувальні впливи АЧ. З'ясуємо сутність цих коефіцієнтів:

$$K_a = (H_z / H_{зем})^m, \quad m = 1, 2 \dots 1, 3; \quad K_p = u_v / u_{vet}, \quad (12)$$

де  $H_z$ ,  $H_{зем}$  – твердість досліджуваного і еталонного ґрунтів,  $u_v$ ,  $u_{vet}$  – знос РОГМ в досліджуваному та еталонному ґрунтах. Коефіцієнт  $K_a$  аналогічний  $K_p$ .

При змішаних процесах дії АЧ знос РОГМ в ґрунті дорівнює:

$$u_v = n_p (V_p + V_d / (\exp(\lambda_p N_p) - 1)), \quad (13)$$

де  $V_p$ ,  $V_d$  – об'єми пошкоджених ПШ РОГМ при різанні і деформуванні АЧ;  $\lambda_p = n_p / n_d$ ;  $n_p = n'_p + 0,5n_{p0}$ ,  $n_d = n'_d + 0,5n_{p0}$  – відповідне число циклів до руйнування та деформування;  $n'_p = nP(H < 0,5H_a)$ ;  $n'_d = nP(H > 0,7H_a)$ ;  $n_{p0} = n - n_p - n_d$ ;  $n$  – загальна кількість АЧ ґрунту, що діють на одиницю площі поверхні РОГМ;  $P(H < 0,5H_a)$ ,  $P(H > 0,7H_a)$  – імовірності умов  $H < 0,5H_a$  та  $H_a$ ,  $H$  – твердість абразиву та поверхні РОГМ. При умові  $V_p = V_d = V_{nu}$ , маємо:

$$u_v = n_p V_{nu} [1 + (\exp(\lambda_p N_p) - 1)^{-1}]. \quad (14)$$

Якщо вважати, що розподіли твердості АЧ в прилеглому до РОГМ шарі ґрунту підкоряються закону Гаусса [1], то маємо:

$$\begin{cases} P(H < 0,5H_a) = \Phi(\gamma_p) + 0,5, & \gamma_p = (2\bar{H} - H_a) / \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_{n_a}^2}; \\ P(H < 0,7H_a) = \Phi(\gamma_d) + 0,5, & \gamma_d = (1,43\bar{H} - H_a) / \sqrt{2\sigma_n^2 + \sigma_{n_a}^2}, \end{cases} \quad (15)$$

$\sigma_n^2$ ,  $\sigma_{n_a}^2$  – дисперсії розподілу твердостей поверхні зразків РОГМ і АЧ.

Остаточний коефіцієнт  $K_p$  дорівнює:

$$K_p = \frac{V_{nu} K_{op} (1 + (\exp(\lambda_p N_p) - 1)^{-1})}{V_{em} n_{em} K_{opem} (1 + (\exp(\lambda_{pem} N_{pem}) - 1)^{-1})}, \quad (16)$$

де  $K_{op} = n_p/n$ ;  $K_{opem} = n_p/n_{em}$ ,  $n_{em} = 4S_{mp}/\pi\bar{d}_c^2\sqrt[3]{\bar{\xi}^2}$ ;  $\bar{d}_c$  – середній діаметр АЧ;  $\bar{\xi}$  – усереднений об'єм АЧ в одиниці об'єму ґрунту;  $S_{mp}$  – площа поверхні тертя.

Теоретичні обґрунтування та експериментальні дослідження [8] свідчать, що зношувана здатність ґрунтів змінюється з часом. Якщо ґрунт має сталий механічний склад і вологість, а також практично незмінні властивості ПШ РОГМ, то при визначенні його відносної зношеної здатності використовують корегуючий коефіцієнт  $\eta_k$ :

$$q_u = q_{uet} \cdot \eta_k. \quad (17)$$

РОГМ при русі в середовищі ґрунту одночасно взаємодіє з різними фазовими компонентами. У більшості випадків ґрунти майже на 90% представлені мінеральними частинками, серед яких крупнодисперсну фракцію складають кварц і польові шпати, а тонкодисперсну – глинисті алюмосилікати [3]. У хімічному складі ґрунтів переважають кисень і кремній, менше алюміній, залізо, вуглець, кальцій, натрій, марганець [9], а інші елементи – у мікрокількостях, здійснюється масоперенос в ПШ РОГМ (рис. 3).

Виявлено, що ПШ зразків РОГМ за елементним складом по глибині мають дві характерні області. Елементний склад першої з них, глибина якої становить 0,10...2,0 мкм, різко відрізняється від початкового складу матеріалу, оскільки область являє собою нову фазу, що утворилася в процесі деформації при взаємодії з ґрунтом. Вміст кисню в ній різко збільшено: на поверхні – 10%, на глибині до 0,2 мкм – до 18%, а на глибині 0,5...0,8 мкм – до 30%. Також зафіксовано наявність кремнію в межах 3...5% та вуглецю до 20...30%. Друга область характеризується незначною зміною кисню і вуглецю на глибині 2,0 мкм і більше. Елементний склад в цій області стабілізується, що є характерним для матеріалу сталей. Максимум вмісту кисню фіксували не на самій поверхні тертя, а на певній глибині, що свідчить про нерівноважність процесів тертя і зношування в шарі товщиною до 0,1 мкм і більшу інтенсивність процесів масопереносу кисню.

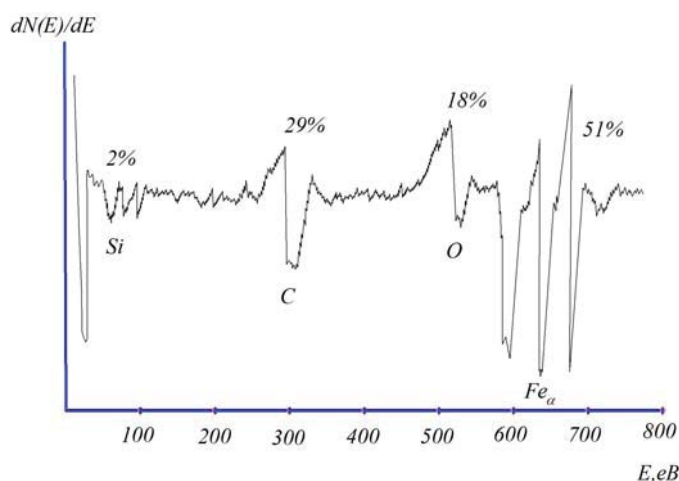


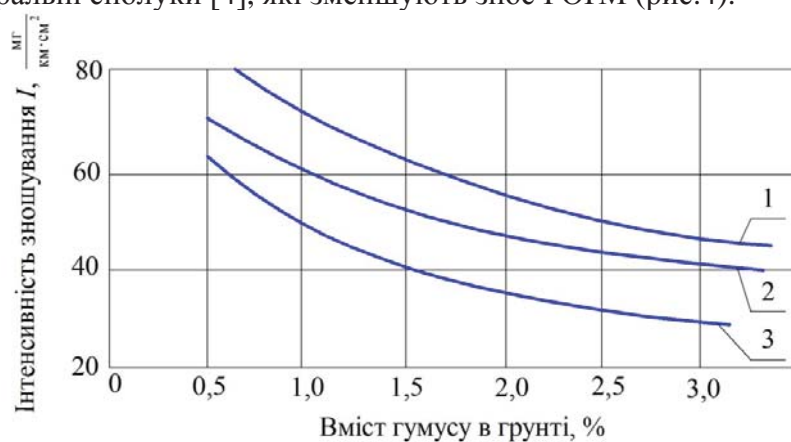
Рисунок 3 – Типовий оже-спектр хімічного складу поверхневого шару зразків РОГМ зі сталі 65Г після напрацювання:  $L_{mp} = 15$  км

Джерело: отримано авторами за результатами експериментальних досліджень

Зміна елементного складу прилеглих до РОГМ шарів ґрунту також свідчить про процеси масопереносу і сегрегації під час взаємодії [3,11] в ТТС "РОГМ-ґрунт", що суттєво впливає на зміну триботехнічних характеристик матеріалу РОГМ та динаміку

його зношування. Виявлене відіграє важливу роль в хімічних процесах формування вторинних структур, насиченні РОГМ хімічними елементами, наявними в ґрунті, в зміні мікропластичної деформації, як головного параметру трибоактивування.

З трибофізичної точки зору компоненти ґрунту, що знаходяться в твердому стані, характеризуються стабільністю форми та визначеним характером теплового руху атомів, а тому при дослідженні впливу їх на його зношувану здатність переважно враховують розмір, форму, твердість і концентрацію АЧ. Будь-який ґрунт містить і органічну речовину, яка складається з гумусу і напіврозкладених залишків. Джерелом гумусу є органічні рештки рослин, мікроорганізмів і тварин, що живуть у ґрунті. Гумус – це гетерогенна динамічна полідисперсна система високомолекулярних азотистих ароматичних сполук кислотної природи [9]. Його вміст в поверхневих горизонтах ґрунтів коливається від 0,5...20% і різко або поступово зменшується за глибиною. Органічні речовини ґрунту постійно взаємодіють із мінеральною частиною, утворюючи органічно-мінеральні сполуки [4], які зменшують знос РОГМ (рис.4).



1 – сталь Л53; 2 – сталь 45; 3 – сталь 65Г

Рисунок 4 – Залежність інтенсивності зношування матеріалів зразків РОГМ від вмісту гумусу в чорноземному ґрунті: ( $W=10\%$ ,  $P=0,1$  МПа,  $v=1,4$  м/с)

*Джерело: отримано авторами за результатами експериментальних досліджень*

Можна бачити, що інтенсивність зношування зразків РОГМ зі сталей Л53, 45, 65Г в ґрунті, зі збільшенням вмісту гумусу, значно зменшується. Зі збільшенням вмісту гумусу поліпшується структура ґрунту, знижується його зношувана здатність [4,5]. Наявність великої кількості функціональних і реактивних груп ( $\text{CO}$ ;  $\text{OH}$ ;  $\text{COOH}$ ;  $\text{CONH}_2$ ) в гумусі підсилює хімічно- і поверхнево-активний вплив ґрунту на поверхневі шари РОГМ. Видалення органічної речовини шляхом прокалювання ґрунту збільшує знос у 1,5...2,0 рази.

Ґрунтова вода, як фаза ґрунту, може знаходитись у трьох станах – твердому, пароподібному, рідкому. Залежно від характеру зв'язку з твердою фазою ґрунту розрізняють такі її форми: хімічно зв'язана, фізично зв'язана, вільна та біологічна [3]. Під дією поверхневих сил вода відносно міцно втримується на поверхні мінералів, а її рух в ґрунтах може відбуватися лише під дією сорбційних, меніскових та гравітаційних сил [2]. Результати експериментальних досліджень впливу рідкої фази на зношувальні властивості ґрунту наведено на рис. 5.



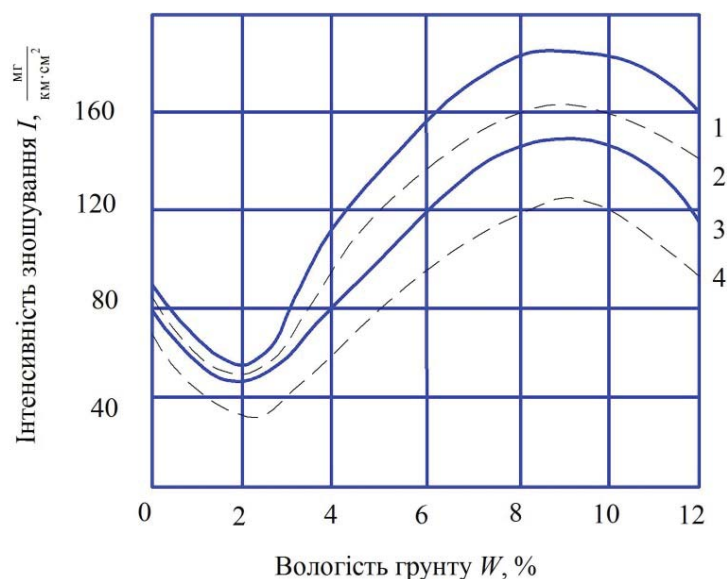


Рисунок 5 – Вплив водних ґрунтових витяжок дерново-підзолистого (1, 2) та чорноземного (3, 4) ґрунтів на інтенсивність зношування зразків РОГМ зі сталей Л53 (1, 3), 65Г (2, 4)

*Джерело: отримано авторами за результатами експериментальних досліджень*

На кривих наявні екстремальні точки: мінімальної і максимальної інтенсивності зносу. Перша з них пояснюється наявністю гігроскопічної вологості, яка сприяє округленню частинок ґрунту і порушує їх зв'язок між собою. Підвищення вологості приводить до зростання товщини плівки води навколо частинок ґрунту, спостерігається їх притягування з меншим зусиллям і порівняно легкий перехід до інших стикаючих частинок й утворення на межі контакту ізольованих кілець води – менісків. Негативний тиск під меніском, сприяє зближенню ґрунтових частинок, що приводить до підвищення зношуваної здатності ґрунту. Крім того, має місце і ефект адсорбційного зниження міцності, обумовлений полярністю води.

При подальшому зволоженні ґрунту зростають шари рихлозв'язаної води й утворюється суцільна водна плівка. При цьому частинки ґрунту втрачають здатність фіксуватися і легко повертаються при зіткненні з поверхнею тертя РОГМ. Зношувані властивості ґрунту при цьому знижуються. Зазначимо, що плівкова і капілярна вода розчиняють компоненти ґрунту, що обумовлює інтенсивне окислення активізованих поверхневих шарів РОГМ.

Основні компоненти газів в ґрунтах представлені  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , а також домішками –  $\text{Ar}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ . Існуючий газообмін між атмосферою і товщею ґрунтів направлений на вирівнювання складу атмосферного повітря і газоподібної складової ґрунтів [9]. Важливою газовою складовою є водяна пара, яка в ґрунті не перевищує 0,001%, але здатна пересуватися і шляхом конденсації утворювати плівки на поверхні частинок ґрунту, змінюючи його зношувальну здатність [4,11].

Із зростанням дисперсності ґрунту кількість адсорбованих газів в ньому збільшується [10]. Інтенсивність адсорбції, складових газової компоненти на поверхні частинок ґрунту змінюється згідно ряду:  $\text{CO}_2 > \text{N}_2 > \text{O}_2 > \text{H}_2$ . Найістотніше від вмісту газової фази залежать такі фізичні характеристики ґрунтів як щільність, теплофізичні параметри (теплоємність, теплопровідність та ін.), проникність, а також фізико-механічні властивості і зношувальна здатність [4,7].

Трибофізичне обґрунтування зношуваних характеристик ґрунтів як гетерофазних середовищ [8], свідчить, що системно-спрямований підхід і синергетична концепція з врахуванням фазових складових дає можливість побудувати моделі ґрунту та виявити еволюцію ТТС "РОГМ-ґрунт" з реалізацією процесів і станів самоорганізації.

### Висновки.

1. Побудована функціональна модель взаємодії елементів в ТТС "РОГМ-грунт", в якій визначено сукупність входних, вихідних, керуючих параметрів та критерії оцінки ефективності її роботи за НДС прилеглого до РОГМ шару ґрунту, сукупністю триботехнічних та енергетичних характеристик.

2. Дано триботехнічне обґрунтування змін характеристик та властивостей ґрунту як елементу трибосистеми "РОГМ-грунт" та з'ясовано його міцність і зношувану здатність. Для енергетичної оцінки міжфазних взаємодій в ґрунті використано вільну енергію Гіббса.

3. Теоретично обґрунтовано зношувану здатність ґрунту, пов'язано її з концентрацією та розподілом АЧ в прилеглому до РОГМ шарі ґрунту, циклів різного виду пошкодження поверхні РОГМ при різанні та деформуванні АЧ.

4. Експериментальними дослідженнями виявлено вплив фазового складу ґрунту на його зношувану здатність, зміну елементного складу у прилеглому до РОГМ шарі ґрунту та ПШ РОГМ, вплив характеристик твердої, рідкої та газової фази на інтенсивність зношування зразків і деталей РОГМ.

### Список літератури

1. Аулін В.В. Закономірності зміни напружено-деформованого стану ґрунтового середовища при дії на нього робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] / В.В. Аулін, А.А. Тихий, О.Д. Мартиненко // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка / Вип. 118. Техн. сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосп. машинобуд. – Харків. – 2011. – С.263-267.
2. Аулін В.В. Закономірності взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом в процесі його обробітку [Текст] / В.В. Аулін, А.А. Тихий// Вісник інженерної академії України. – 2011.– №2 – С.144-149.
3. Аулін В.В. Фазовий склад ґрунтового середовища та його зношувальні властивості [Текст] / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2009. – №2 – С.91-99.
4. Аулін В.В. Зношувальна здатність ґрунтового середовища та закономірності спрацювання деталей РОГМ [Текст] / В.В. Аулін, М.І.Черновол, А.А. Тихий// Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2010. – №2 – С.6-10.
5. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] / В.В. Аулін, В.М.Бобрицький, А.А.Тихий // Науковий вісник Луганського нац. аграр. університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2009. №3. - С. 6-17.
6. Аулін В.В. Трибофізичне обґрунтування змін напружено-деформованого стану ґрунту під час дії РОГМ [Текст] /В.В. Аулін // Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодерж. міжвід. наук. – техн. зб. - Кіровоград: КНТУ. – 2012- Вип.42. Частина І. – С. 13-20.
7. Аулін В.В. Характер зміни напружено-деформованого стану ґрунту під час його взаємодії з робочим органом [Текст] / В.В. Аулін, М.І. Черновол, А.А. Тихий // Вісник інженерної академії України. – 2011. – №1. – С. 232-237.
8. Аулін В.В. Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №1 – С.114-119.
9. Воронин А.Д. Основы физики почв [Текст] / А.Д. Воронин. - М: МГУ, 1986. – 214с.
10. Мударисов С.Г. Принципы разработки адаптирующихся рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] /С.Г. Мударисов //Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2005. – №6. – С. 10-11.
11. Кузнецов Е.А. Влияние сил трения на распределение энергии под синусоидальным индентором [Текст] / Е.А. Кузнецов, Г.А. Гороховский // Проблемы трения и изнашивания. - К.: Техника, 1980.- №18. – С. 12-17
12. Ґрунтоведение [Текст] / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенський и др., под ред. В.Т.Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

**Viktor Aulin, Prof., DSc., Andrey Tihy, Assos. Prof., PhD tech. sci.**

*Kirovohrad national technical university, Kirovohrad, Ukraine*

**Viktor Voytov, Prof., DSc.**

*Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine*

### **The physical aspects of the interaction in the system WBTM-soil**

The paper developed a functional model of the interaction with the environment WBTM-soil. Presented friction and wear processes in the soil that are implemented against the background of the WBTM interchange indicators of soil and the environment is a complex set of physical and chemical phenomena.

When considering the patterns of interaction in TTS "WBTM-soil" takes into account both external structure and internal structure. Shows the change in the elemental composition of the surrounding WBTM-soil layers, indicating that the process of mass transfer and segregation during interaction TTS "WBTM-soil."

Presented patterns of processes of friction and wear WBTM depending on its structure and grain size. The state of the soil by the action WBTM, determined its density distribution in the depth of the treated layer of soil types found on the distribution of different density, structure, porosity, humus content and the depth obtained regression equation between the density of soil and humus content.

**functional model, tribotechnical system, stress, elemental composition, exposure, soil structure, demolition, working body tillage machines**

Одержано 12.11.15

**УДК 621.891+631.3.02**

**Т.Н. Замота, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина*

## **Повышение эффективности приработки ресурсоопределяющих сопряжений транспортных средств**

Применение метода электрохимико-механической приработки (ЭХМП) позволяет ускорить приработку, исправлять макрогеометрию деталей трибосопряжений, приспособлять поверхности трения. Разработка научных основ метода ЭХМП деталей с макрогеометрическими отклонениями с возможностью управления процессом является безусловно актуальной проблемой.

ЭХМП основных сопряжений деталей ТС машин является высокоэффективным процессом приработки поверхностей, в котором кроме механического действия, процесс приработки ускоряется за счет электрохимических процессов. В статье с позиций основных положений теории электрохимических процессов, теории износостойкого взаимодействия смазанных поверхностей, гидродинамической теории трения, особенностей электрохимико-механической приработки трущихся поверхностей деталей, проанализированы закономерности приработки основных сопряжений, от которых зависит ресурс машин. Выявлены возможности управления процессом приработки и состояниями трущихся поверхностей деталей.

**приработка, электрохимико-механическая приработка, сопряжения, ресурс машин, транспортные средства**

**Т. М. Замота, доц., канд. техн. наук**

*Кировоградський національний технічний університет, м.Кировоград, Україна*

**Підвищення ефективності припрацювання ресурсообумовлюючих сполучень транспортних засобів**