

- локальном внесении основного минерального удобрения / Р.Т. Вильдфлуш // Бюл. ВИУА. – 1974. – №18. – С. 64-79
3. Геряев М. Суперфосфат лучше вносит локально. / М. Геряев, Р. Геряева // Земледелие. – 1974. – № 3. – С. 86-90.
 4. Гіліс М.Б. Локальне внесення добрив / М.Б. Гіліс. – К.: УАСГН, 1962. – 192 с.
 5. Дейкун В.А. Аналіз способів внесення мінеральних добрив / В.А. Дейкун, В.М. Сало, О.М. Васильковський // Наукові записки. – Вип. 5. – Кіровоград, КНТУ, 2004. – С. 12-15.
 6. Пат. 3724. Робочий орган для локального внесення мінеральних добрив / Дейкун В.А., Сало В.М., Васильковський О.М.; заявник і патентотримач Кіровоградський державний технічний університет. – №2004021299; заявл. 23.02.2004; опубл. 15.12.2004, Бюл. №12.
 7. Сало В.М. Науково-технологічні основи обґрунтування складу та параметрів комбінованих ґрунтообробних знарядь: дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук. – Кіровоград, 2008. – 377 с.

Viktor Deikun, Vasily Salo, Aleksei Vasylovskii, Sergey Leshchenko

Kirovograd national technical university

Experimental study of equability distribution granules fertilizers on width paw working body

Purpose of work is increase the equability of sowing fertilizer in the space under the paw.

In this article presents the results of determining the equability of seeding granular fertilizers space under the paw during cultivation. The authors determined the pattern of distribution of granular fertilizers in width paws cultivator for different angles of inclination. Dependences of the coefficient of variation suggest about the efficiency and effectiveness of a new device for dispensing granular fertilizers in the space below paw.

When used as a working body of heavy cultivators legs with delight constructive width 33 cm and a slope next 3° to work on heavy soils, maximum equability of distribution of fertilizers in width can be achieved by bypassing the bulk of a 10...11 cm from the longitudinal axis of the working body.

granular fertilizers, uniformity making, distribution of the fat, coefficient of variation

Одержано 23.04.14

УДК 621.891:631.31

В.В. Аулін, проф., канд. ф.-м. наук, А.А. Тихий, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Модель взаємодії дисперсного середовища ґрунту з поверхнею робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин

В статті наведено механізм взаємодії РОГЗМ з дисперсним середовищем ґрунту та побудовано математичну модель цього процесу, модель достатньо повно відповідає будові і взаємодії прилеглого до РОГЗМ граничного шару ґрунту під час його обробітку. Наведено аналіз числа перетину абразивних частинок по їх діаметру у випадку моно-і полідисперсного середовища ґрунту з використанням геометрично-ймовірнісних методів.

ґрунт, абразивна частинка, робочий орган ґрунтообробної та землерийної машини, модель взаємодії, граничний шар, щільність розподілу

В.В. Аулин, проф., канд. ф-м. наук, А.А. Тихий, канд. техн. наук

Кировоградский национальный технический университет

Модель взаимодействия гетерофазной дисперсной среды почвы с поверхностью рабочих органов почвообрабатывающих и землеройных машин

В статье приведен механизм взаимодействия РОПЗМ с дисперсной средой почвы и построена математическая модель этого процесса, модель достаточно полно соответствует строению и взаимодействию прилегающего к РОПЗМ граничного слоя грунта при его обработке. Приведен анализ числа пересечений абразивных частиц по их диаметру в случае моно-и полидисперсной среды почвы с использованием геометрически вероятностных методов.

почва, абразивная частица, рабочий орган почвообрабатывающей и землеройной машины, модель взаимодействия, граничный слой, плотность распределения

Постановка проблеми. Під час взаємодії робочих органів ґрунтообробних та землерійних машин (РОГЗМ) підлягають різним видам зношування: абразивному, корозійному, адгезійному та втомному. При цьому переважно більша частка приходить на абразивний знос. Природа абразивного зносу, його механізм на сьогодні остаточно не з'ясовано. Це обумовлено складністю процесу взаємодії локальних ділянок поверхні РОГЗМ з абразивними частинками, що знаходяться в прилеглому шарі ґрунту. На характер і величину зносу впливають фізико-механічні, фізико-хімічні, трибологічні та реологічні характеристики поверхневих шарів РОГЗМ і прилеглого до нього шару ґрунту, їх напружено-деформовані стани (НДС) та зношувальна здатність [1,2]. Для характеру взаємодії важливим є концентрація, форма, твердість абразивних частинок в прилеглому до РОГЗМ шарі ґрунту, а також ймовірність їх співударання, тобто закономірності процесів контактної взаємодії та розподілу абразивних частинок в ньому. Знаючи це та керуючи умовами взаємодії можна реалізувати в триботехнічній системі (ТТС) "РОГЗМ-ґрунт" процеси і стани самоорганізації, при яких інтенсивність зносу РОГЗМ буде мінімальною, а коефіцієнт тертя - оптимальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасному сільськогосподарському, дорожньому та будівельному машинобудуванні велику увагу приділяють проблемі підвищення зносостійкості їх деталей та робочих органів, оскільки в процесі експлуатації в ґрунті вони підлягають інтенсивному абразивному зношуванню (АЗ), механізм і природа якого потребує більш ретельного дослідження. В науковій літературі розповсюджене пояснення механізму абразивного зношування, розглянуті в роботах В.Ф. Лоренца, В.Д. Кузнецова, А.К. Зайцева, В.Н. Кашеєва, як результат дряпання матеріалу робочої поверхні деталей абразивними частинками (АЧ), яке викликає її мікрорізання. М.М. Хрущов і М.А. Бабічев розглядають руйнування поверхні металу АЧ мінерального походження, а Б.І. Костецький стверджував, що руйнування при АЗ відбувається унаслідок зминання й зрізання мікроб'ємів металу та утворення стружки сколювання й спостерігається одночасно процес зміцнення поверхневих шарів.

В роботі [3,7] систематизовано АЗ за характером дії АЧ на контактні поверхні зношування: ковзання по монолітному абразиву; удар по абразиву; кочення по абразиву; дія абразивного потоку; рух у масі незакріплених абразивних частинок. Разом з тим відсутній чіткий математичний опис по цим видам зношування, тобто математичне моделювання АЗ та процесу взаємодії в ТТС "РОГЗМ-ґрунт". Питання математичного моделювання процесу зношування в абразивному середовищі відображені в роботах У.А. Ікрамова, М.М. Тененбаума, М.М. Севернева, М.М. Хрущова, Б.І. Костецького, І.В. Крагельського та інші.

У.А. Ікрамов [4] запропонував математичну модель для визначення величини зносу при мікрорізанні початково-вільними АЧ в якій зношування в реальній абразивній масі має змішаний характер. М.М. Тененбаум [5] увів поняття критичного степеню змішаності деформуючих і різальних частинок, який відповідає відношенню зносу при полідеформаційному й прямому руйнуванні. Визначено, що навіть при малій кількості зерен, які ріжуть поверхню, вони зношують її більше, ніж в результаті пластичної деформації. М.М. Севернев [6] запропонував математичну залежність для визначення величини зносу деталей.

Перехід від пружного до пластичного деформування й до зрізу матеріалу досліджував І.В. Крагельский [7]. Отримані закономірності, встановлені для металічних тіл, не враховували факторів (міцність абразивних зерен, ступеня закріпленості, форма абразиву), характерних для зношування в абразивному середовищі. У праці Б.І. Костецького [3] з мікроскопічної точки зору зношування РОГЗМ на основі класичної схеми протікання процесу описано стохастичним диференціальним рівнянням.

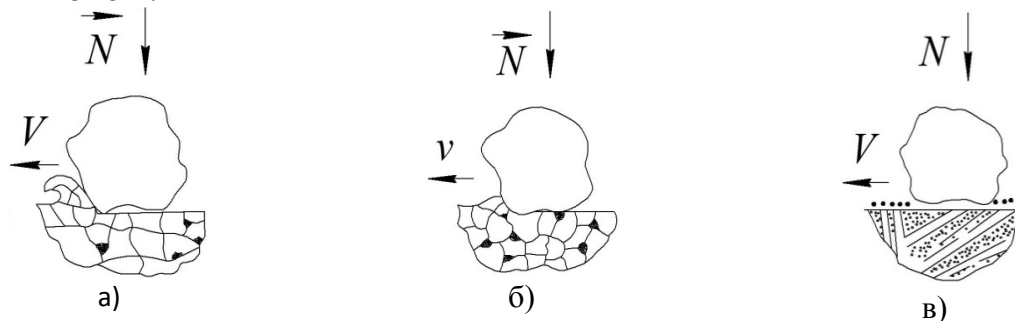
Разом з тим в існуючих математичних моделях зносу деталей машин, що працюють в абразивному середовищі, не враховано можливість зношування локально зміцнених поверхонь деталей, обмеженість набору параметрів, які впливають на знос, їх дослідження на мультиколінійність, гетероскедастичність та автокореляцію, детерміністський та стохастичний характер взаємодії АЧ ґрунту з РОГЗМ та зв'язок його характеристик з триботехнічними параметрами ТТС [2,8].

Постановка завдання. З'ясувати механізм взаємодії РОГЗМ з дисперсним середовищем ґрунту та побудувати математичну модель цього процесу.

Виклад основного матеріалу. Досліджуючи процес зношування в ТТС "РОГЗМ-ґрунт" можна виділити основні фактори, що впливають на інтенсивність зношування в абразивній масі ґрунту: природа і форма структурних складових матеріалу РОГЗМ; природа і твердість абразивного матеріалу ґрунту; ступінь зв'язаності АЧ ґрунту; тиск АЧ на робочу поверхню РОГЗМ; зношувальна здатність ґрунту.

Характерним для зношування РОГЗМ є три основні види руйнування поверхні металу при взаємодії з АЧ (рис. 1).

Руйнування поверхні в процесі мікрорізання наведено на рис. 1 а. В процесі деформації поверхні тертя дрібні карбіди відтісняються по краям подряпин (рис. 1 б), а потім видаляються разом з пластичною основою. Крупні карбіди в твердих сплавах руйнуються в результаті стирання окисної плівки і поступово викришуються (рис. 1 в). Сплави, що мають співвідношення твердості $H_{cn} > H_a$ в основному руйнуються за рахунок корозійно-механічного зносу. Це найменш ефективна форма руйнування поверхні РОГЗМ.



а) мікрорізання; б) пластичне відтиснення; в) корозійно-механічний і утомний знос

Рисунок 1 - Основні види руйнування поверхні матеріалу РОГЗМ при взаємодії з абразивною частинкою ґрунту

Інтенсивність зношування РОГЗМ визначається не тільки твердістю, але й формою АЧ, наявних в ґрунті, а також їх зв'язком між собою. Для якісної оцінки форми АЧ однієї фракції в роботі М.М. Тененбаума [5] запропоновано критерій - коефіцієнт форми:

$$K_{\phi} = \frac{M[n_i]M[D_i - d_i]}{M[R_i]}, \quad (1)$$

де $M(n_i)$, $M(R_i)$ і $M(D_i - d_i)$ – відповідні математичні очікування числа вершин АЧ ґрунту, їх радіусів і різниці діаметрів кіл, описаного і вписаного в їх контур.

Виявлено, що перехід до прямого руйнування (зрізу) здійснюється при збільшенні K_{ϕ} , зокрема, при достатньо великій ймовірності контакту АЧ по виступу з малим радіусом кривизни, а форма частинки далека від сферичної. Разом з тим проф. М.М. Севернев [6] встановив, що більшість АЧ у ґрунті мають заокруглену форму, що виключає можливість процесу зрізу металу РОГЗМ абразивом. Дослідженнями проф. В.М. Ткачова [9] встановлено, що в процесі АЗ РОГЗМ, процес мікрорізання поверхні практично неможливий, а процес зношування відбувається за рахунок пластичного деформування поверхні матеріалу під час взаємодії з АЧ, прилеглого до РОГЗМ шару ґрунту, особливості будови якого часто не враховуються.

При моделюванні цей шар ґрунту може бути розбитий на підшари, що складаються з геометрично подібних різнорозмірних елементів і розподілені за ознакою геометричної подібності. Фізико-механічні властивості шару ґрунту змінюються у вигляді функціональних залежностей від координат (по глибині), що мають випадковий характер і володіють стаціонарністю і ергодичністю [3,10].

Для опису щільності розподілу розмірів АЧ в ґрунті використовуються закони Гаусса, Розина-Раммлера, Вейбулла-Гнеденка, Максвелла, Реллея, логнормального закону та ін., а в якості моделі структурного елемента АЧ - куля, еліпсоїд, паралелепіпед, октаедр та ін. При цьому доцільними є геометрично-ймовірнісні методи, які дають можливість вивчати стереометричні характеристики АЧ ґрунту на основі статистичного аналізу їх перерізів площинами паралельними робочій поверхні РОГЗМ. В основі методів лежать основні принципи і положення стереології сформульовані С.А. Салтиковим [11].

При моделюванні реальних АЧ кульками враховуються відхилення від правильної геометричної форми за допомогою фактора форми, під яким розуміють відношення найбільшого розміру до найменшого або найбільш ймовірну величину цього відношення [5].

Статистичний опис геометрії АЧ дозволяє уточнити їх розподіл за розміром і масою, а також отримати рівняння ущільнення ґрунту, прилеглого шару до РОГЗМ з урахуванням НДС. При цьому залежність площі пружного контакту від нормального навантаження прямує від нелінійної (по Герцу) до лінійної, а середній тиск стає постійним і є пружною твердістю. Таким чином, в будь-який момент часу змінюється характер контактної взаємодії і зв'язані з нею деформаційні властивості поверхневого шару РОГЗМ.

При фізичному моделюванні використовується подібність процесів фрикційної взаємодії РОГЗМ, з ґрунтом [12]: необхідно і достатньо, щоб у моделі і у об'єкта "РОГЗМ-ґрунт" реалізувалися практично однакові температурно-силові поля. На основі аналізу властивостей ґрунту як дисперсного матеріалу і його деформаційних властивостей вважається, що фрикційна взаємодія РОГЗМ з ґрунтом визначається рядом критеріїв:

$$\pi_1 = \varepsilon_a \cdot v \cdot p_a \cdot \frac{A_a}{k_r}; \pi_2 = k_r \cdot S^2 \left(\frac{H_m}{H_a} \right) \cdot \left(\frac{\psi_m}{\psi_a} \right); \pi_3 = 1; \pi_4 = a_{TH} \cdot k_k \cdot A_k \cdot \frac{W_{\text{пит}}}{\lambda \cdot L};$$

$$\pi_5 = \frac{H_{1,2}}{N^2 \cdot S_{1,2}^2}; \pi_6 = \frac{\sigma_{T1,2}}{N^2 \cdot S_{1,2}^2}; \pi_7 = \frac{n}{v \cdot S_{1,2}^{1/2}}; \pi_8 = t \cdot v \cdot S_{1,2}^{1/2}, \quad (2)$$

де ε_a – абсолютна деформація під дією одиничного удару АЧ з питомою потужністю N_a ; v – швидкість; p_a – номінальний тиск; k_r – комплекс, рівний відношенню номінальної площі контакту A_a до характерного розміру S . Критерій π_1 враховує деформацію ґрунту, π_2 характеризує абразивність ґрунту, яка визначається величиною і формою АЧ, їх числом на одиниці площі ψ_a і твердістю H_a . Третій критерій характеризує масу води в одиниці об'єму ґрунту. π_4 – корозійну активність робочої поверхні, тобто втрату маси з одиниці площі контакту за одиницю часу при зміні температури на градус: k_k , A_k – втрата маси внаслідок корозії; $W_{\text{пит}}/\lambda \cdot L$ – енергетичні витрати на корозійну активність на одиницю шляху тертя; λ , L – коефіцієнти теплопровідності; a_{TH} – коефіцієнт розподілу теплових потоків; $W_{\text{пит}}$ – питома (масова) робота сил тертя. Критерій π_5 і π_6 враховують механічні властивості матеріалу і абразиву: $H_{1,2}$ – твердість ТЕ; N – навантаження; $\sigma_{T1,2}$ – границя матеріалів ТЕ. Критерій π_7 і π_8 враховують тривалість взаємодії поверхонь: n – число взаємодії; t – час.

Особливу увагу приділяють критерію π_7 , який дає можливість вибрати кількість АЧ, що знаходяться одночасно в зоні контакту. При цьому фізична подібність потребує тотожності механізмів контактування: однакового мікрорельєфу і мікроструктури матеріалів поверхонь РОГЗМ, забезпечення умов взаємодії близьких до натурних.

Ґрунт розглядали як пружно-в'язке середовище за допомогою моделі Кельвіна-Фойгта [1,3], враховували його питому в'язкість і жорсткість. Деформованість прилеглого шару ґрунту до РОГЗМ, крім навантаження, визначали часом впливу і періодом релаксації.

Для теоретичного аналізу контактної взаємодії дисперсного середовища ґрунту з твердою поверхнею РОГЗМ вважали, що АЧ має сферичну форму. В основі моделі шару ґрунту покладено наступне: розподіл діаметрів АЧ відповідає дослідним даним про фракційний склад; для кожної фракції граничний шар ґрунту являє собою наполовину заповнений абразивними частинками, які рівномірно розподілені у займаному об'ємі; нормальне зусилля абразивних частинок, що увійшли одночасно в контакт і що діють на тверду поверхню РОГЗМ пропорційно її поперечному перерізу; приріст загального нормального зусилля рівномірно розподіляється по усім контактуючим АЧ.

Нехай маємо шар ґрунту, з однаковим розміром АЧ (рис.2).



Рисунок 2 – Схема взаємодії поверхневого шару РОГЗМ і АЧ прилеглого шару ґрунту

Розглядаємо поздовжній і поперечні перерізи прилеглого шару ґрунту. Площина АА – це гранична поверхня РОГЗМ, площина ВВ – площина, яка розміщена на відстані D від площини АА і перетинає ряд АЧ. Аналогічно виділені площини СС, ЕЕ і т.д.

Використовуючи принципи стереології, число АЧ, що перетинаються випадковою площиною дорівнює:

$$m_{S_n} = S_n \cdot n \cdot D, \quad (3)$$

де S_n – площа перерізу шару ґрунту; n, D – концентрація та діаметр АЧ.

Елементарна їх кількість і елемент шару ґрунту становлять:

$$dm_s = \frac{m_s}{D} dz, \quad dz = \frac{d \partial d}{2\sqrt{D^2 - d^2}} \quad (4)$$

Використовуючи попереднє щільність розподілу діаметрів d перерізів АЧ випадковою поперечною площиною дорівнює:

$$f(d) = \frac{dm_s}{m_s \partial d} = \frac{d}{2D\sqrt{D^2 - d^2}} \quad (5)$$

Математичне очікування діаметра перерізу і його квадрату дорівнюють:

$$M(d) = \pi D/4; \quad M(d^2) = 2D^2/3. \quad (6)$$

Середній розмір площинки перерізу абразивної частинки довільною поперечною площиною становить:

$$\Delta \bar{A} = \pi d_{ck}^2/4 = 2\pi D^2/12 = 2/3 \Delta S_{mp}. \quad (7)$$

Якщо врахувати відношення щільності елементів ТТС "РОГЗМ-ґрунт", $\alpha_\rho = \rho_c/\rho_T$, то площа прилеглого шару ґрунту дорівнює:

$$A = \alpha_\rho \cdot S_{mp}, \quad (8)$$

де S_{mp} – площа поверхні тертя.

Враховуючи (7) і (8), маємо:

$$m_s = A/\Delta \bar{A} = 6\alpha_\rho S_{mp}/\pi D^2. \quad (9)$$

Виходячи із (9) і (10), знайдемо вміст абразивних частинок в шарі ґрунту:

$$n = 6 \cdot \alpha_\rho / \pi \cdot D^3. \quad (10)$$

Розглянемо як розподіляються АЧ по глибині шару ґрунту, тобто їх центри лежать між січними площинами на $u \geq D$. Площа перерізу АЧ, вершини яких віддалені на відстані z , рівна:

$$\Delta A = 0,25\pi d = \pi \left[0,25D^2 - (0,5D + u - z)^2 \right]. \quad (11)$$

Оскільки елемент площі перерізу АЧ становить: $dA = dm_s \cdot \Delta A = S_{mp} n \Delta A du$, то після інтегрування, маємо:

$$A = \int_0^z dA = \pi S_{mp} n z^2 \left(\frac{3D - 2z}{6} \right). \quad (12)$$

Доцільним є використання відносних величин: $z_0 = z/z_m$, $z_m = \Delta$, Δ – глибина шару ґрунту. Частка перерізу прилеглого шару ґрунту, що зайнята АЧ, пропорційна відносній щільності:

$$\eta_z = A/S_{mp} = \alpha_\rho z_0^2 (3 - 2z_0). \quad (13)$$

У першому випадку діаметр перерізу АЧ знаходиться в інтервалі $(0; \sqrt{Dz - z^2})$, тоді щільність розподілу діаметрів площинок їх перерізу дорівнює:

$$f_1(d) = \frac{dm_s}{m_s \cdot \partial d} = \frac{d}{2z\sqrt{D^2 - d^2}}. \quad (14)$$

У другому випадку діляться на дві групи: АЧ, центри яких лежать нижче площини перерізу, і частинки, центри яких лежать вище площини перерізу. Щільність розподілу при цьому становить:

$$f_2(d) = f_{21}(d) + f_{22}(d). \quad (15)$$

Отримати $f_{21}(d)$ і $f_{22}(d)$ можна використавши формулу (14), але межі зміни діаметру площинки перерізу абразивних частинок будуть різні: для щільності $f_{21}(d)$ - $(0; D)$, для щільності $f_{22}(d) = (2\sqrt{Dz - z^2})$. Зазначене враховується при знаходженні математичних очікувань діаметру перерізу і площі перерізу.

Для випадку $z \leq D/2$.

$$M_1[d] = \frac{1}{2z} \int_0^{2\sqrt{Dz-z^2}} \frac{d^2 \partial d}{\sqrt{D^2 - d^2}} = \frac{1}{2z} \left(\frac{D}{2} \arcsin^2 \frac{\sqrt{Dz - z^2}}{D} - 2D - 2z \cdot \sqrt{Dz - z^2} \right). \quad (16)$$

При $z = D/2$: $M_1[d] = \pi \cdot D/4$

Для випадку $z \geq D/2$, маємо:

$$\begin{aligned} M_2[d] &= \frac{1}{2z} \left[\int_0^D \frac{d^2 \partial d}{\sqrt{D^2 - d^2}} + \int_{2\sqrt{Dz-z^2}}^D \frac{d^2 \partial d}{\sqrt{D^2 - d^2}} \right] = \\ &= \frac{1}{2z} \left[\frac{\pi D^2}{2} + \frac{D^2}{2} - \frac{D^2}{2} \arcsin^2 \frac{2\sqrt{Dz - z^2}}{D} + (D - 2z) \sqrt{Dz - z^2} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

При $z = D$, $M_2[d] = \pi D/4$, а при $z \geq D$ граничний шар завершується. Математичне очікування площі перерізу АЧ подається подібним чином:

- для випадку $z \leq D/2$

$$M_1[\Delta A] = \frac{\pi d_{\text{ср}}}{4} = \frac{\pi}{8z} \int_0^{2\sqrt{Dz-z^2}} \frac{d^2 \partial d}{\sqrt{D^2 - d^2}} = \frac{\pi}{8z} \left(\frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{3} (2D^2 - d^2) \right) \Bigg|_0^{2\sqrt{Dz-z^2}} = \frac{\pi}{6} z (3D - 2z); \quad (18)$$

- для випадку $z \geq \frac{D}{2}$

$$M_2[\Delta A] = \frac{\pi}{8z} \left[\int_0^D \frac{d^3 \partial d}{\sqrt{D^2 - d^2}} + \int_{2\sqrt{Dz-z^2}}^D \frac{d^3 \partial d}{\sqrt{D^2 - d^2}} \right] = \frac{\pi}{6} z (3D - 2z). \quad (19)$$

Якщо $z = D/2$, то $M_1[\Delta A] = M_2[\Delta A] = \pi D/6 = 2\Delta S_{\text{мр}}/3$. (20)

Розглянемо розподіл площинки перерізу АЧ граничного шару полідисперсного ґрунту випадковою площиною, використовуючи рис. 3.

Для полідисперсного матеріалу ґрунту співвідношення (4) справедливо для будь якої фракції, тобто можна застосувати формулу (3) для АЧ з діаметром в інтервалі $(D, D+dD)$, фракційний склад при цьому характеризується щільністю розподілу по діаметру:

$$dndD/n = \phi(D). \quad (21)$$

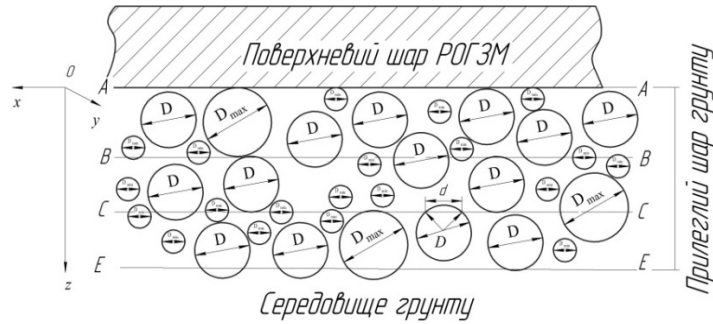


Рисунок 3 – Схема взаємодії поверхневого шару РОГЗМ і прилеглого шару полідисперсного середовища ґрунту

Число частинок усіх діаметрів, які перетинає випадкова поперечна площина, з урахуванням (3) і (21), дорівнює:

$$dm_s = S_{mp} D d_n = S_{mp} D n \phi(D) dD, \quad (22)$$

$$m_s = \int_{D_{min}}^{D_{max}} dm_s = S_{mp} D d_n = S_{mp} n \int_{D_{min}}^{D_{max}} D \phi(D) dD = S_{mp} M[\bar{D}], \quad (23)$$

де $M[\bar{D}]$ - математичне очікування поточного діаметра АЧ; D_{min} і D_{max} - відповідні діаметри найменших і найбільших частинок.

Щільність розподілу АЧ, перетнутих випадковою площиною становить:

$$\phi(D) = \frac{dm_s}{m_s dD} = \frac{\bar{D}}{M[\bar{D}]} \phi(D). \quad (24)$$

Перший і другий моменти цього розподілу для абразивних частинок ґрунту, що попали в площину перерізу, рівні:

$$\left\{ \begin{aligned} M[\bar{D}] &= \frac{1}{\bar{D}} \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^2 \phi(D) dD = \frac{M[\bar{D}^2]}{M[\bar{D}]} \\ M[\bar{D}^2] &= \frac{1}{\bar{D}} \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^3 \phi(D) dD = \frac{M[\bar{D}^3]}{M[\bar{D}]} \end{aligned} \right. \quad (25)$$

$$\left\{ \begin{aligned} M[\bar{D}^2] &= \frac{1}{\bar{D}} \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^3 \phi(D) dD = \frac{M[\bar{D}^3]}{M[\bar{D}]} \\ M[\bar{D}^3] &= \frac{1}{\bar{D}} \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^4 \phi(D) dD = \frac{M[\bar{D}^4]}{M[\bar{D}]} \end{aligned} \right. \quad (26)$$

де $M[\bar{D}^2]$, $M[\bar{D}^3]$ - математичні очікування квадрату і кубу діаметра АЧ в об'ємі.

АЧ займають частину матеріалу прилеглого до РОГЗМ шару:

$$\alpha_p = \pi n \bar{D}^3 / 6, \quad (27)$$

де $\pi \bar{D}^3 / 6$ - середній об'єм АЧ, n - їх концентрація:

$$n = 6\alpha / \pi \bar{D}^3. \quad (28)$$

Після урахування виразів (4), (25) і (27), у формулі (23), маємо:

$$m_s = 6\alpha S_{mp} M[\bar{D}] / \pi \bar{D}^3. \quad (29)$$

Сума площ різних груп перерізів АЧ дорівнює:

$$A = A_1 + A_2 + A_3. \quad (30)$$

Елемент площі перерізу АЧ першої групи A_1 з діаметром в інтервалі $(D, D+dD)$ становить:

$$dA_1 = \pi S_{mp} z^2 (D/2 - z/3) dn = \pi S_{mp} z^2 (\Delta/2 - z/3) n \phi(\bar{D}) dD,$$

де $dn = n\phi(\bar{D})dD$.

Після інтегрування маємо:

$$A_1 = \int_{2z}^{D_{\max}} dA = \pi S_{mp} n z^2 \left[0,5 \int_{2z}^{D_{\max}} \phi(D) dD - \frac{z}{3} \int_{2z}^{D_{\max}} \phi(D) dD \right]. \quad (31)$$

Площа перерізу АЧ другої групи дорівнює:

$$A_2 = A_{21} + A_{22}, \quad (32)$$

$$\text{де } A_{21} = \frac{\pi}{12} S_{mp} n \int_z^{2z} D^3 \phi(\bar{D}) dD; \quad A_{22} = \frac{\pi}{12} S_{mp} n \left[\int_z^{2z} D \phi(D) dD - \int_z^{2z} D^3 \phi(D) dD - 4y^3 \int_z^{2z} \phi(D) dD \right].$$

Додавши A_{21} і A_{22} , остаточно маємо:

$$A_2 = \frac{\pi}{6} \pi S_{mp} n z^2 \left[3 \int_z^{2z} D \phi(\bar{D}) dD - 2z \int_z^{2z} \phi(\bar{D}) dD \right]. \quad (33)$$

Відповідно площа перерізу АЧ третьої групи дорівнює:

$$A_3 = \frac{\pi}{6} \pi S_{mp} n \int_{D_{m_i}}^z D^3 \phi(\bar{D}) dD. \quad (34)$$

Підсумовуючи площі перерізів трьох груп абразивних частинок, маємо:

$$A = \frac{1}{6} \pi S_{mp} n \left[z^2 \left(3 \int_z^{D_{\max}} D \phi(D) dD - 2z \int_z^{D_{\max}} \phi(D) dD \right) + \int_{D_{\min}}^z D^3 \phi(D) dD \right]. \quad (35)$$

Враховуючи відносну координату і відносний діаметр $D_0 = \bar{D}/D_{\max}$, маємо відносну площину перерізу у вигляді:

$$\eta_s = \frac{A}{S_{mp}} = \frac{\alpha_p}{\bar{D}^3} \left[z_0^2 \left(3 \int_{z_0}^1 D_0 \phi(D_0) dD_0 - 2z_0 \int_{z_0}^1 \phi_0(D_0) dD_0 \right) + \int_{D_{m_0}}^{z_0} D_0^3 \phi_0(D_0) dD_0 \right]. \quad (36)$$

де $\phi(D_0)$ - відносна щільність розподілу абразивних частинок по діаметру.

Формула (36) дозволяє також розраховувати зміну пористості в граничному прилеглому до РОГЗМ шарі ґрунту по його глибині: $\theta = 1 - \eta_s$

Висновки.

1. Розглянутий аналіз числа перетину АЧ по їх діаметру у випадку моно-і полідисперсного середовища ґрунту, свідчить, що для обчислень числа їх взаємодій необхідно знати закон їх розподілу по діаметру.

2. Запропонована модель достатньо повно відповідає будові прилеглих до РОГЗМ шарів ґрунту під час його обробітку.

3. Застосування моделі дозволяє розрахувати площу контакту абразивних частинок при взаємодії з матеріалом РОГЗМ.

Список літератури

1. 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). Хмельницький. ХДУ, 2010.-№2- С.6-10.
2. Аулін В.В. Вплив твердої фази ґрунту на характер і величину зношування поверхні РОГМ / В.В. Аулін, М.І. Черновол, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 9-й междуна. научн.-техн. конф., 25–29 мая 2009, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2009. – С.235-237.
3. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа/Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1981. – 31 с.

4. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа/ У.А. Икрамов . – М: Машиностроение, 1987. – 288 с.
5. Тененбаум М.М. Износостойкость и долговечность сельскохозяйственных машин/ М.М. Тененбаум, С.Н. Шамшетов. – Нукус: Каракалпакстан, 1986.–150 с.
6. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин/ М.М. Севернев. - Л.: Колос, 1972.– 288 с.
7. Крагельский И.В. Трение и износ/И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
8. Аулін В.В. Абразивна зносостійкість лазерно-модифікованих композиційних покриттів / В.В.Аулін // Зб. наук. праць КДТУ "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузі машинобудування". – Вип. 12. – 2003. – С.219-223.
9. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев. – М. Машиностроение, 1995. – 336 с.
10. Аулін В.В. Стохастична модель динаміки процесу абразивного зношування різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин/В.В. Аулін, В.М. Бобрицький// Зб. наук. праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ:Видавництво ЛНАУ, 2007, - №76(99). – С 15-18.
11. Салтыков С.А. Стереология в материаловедении/ С.А. Салтыков. М.: Металлургия, 1974. - 168 с.
12. Беркович И.И. Теоретические основы фрикционного взаимодействия дисперсных материалов с твердой поверхностью: монография/ И.И. Беркович, А.Н. Болотов, Ю.И. Морозова; Тверь: ТвГТУ, 2012. – 92 с.

Viktor Aulin, Andrey Tihy

Kirovograd Technical National University

Model the interaction of dispersed soil environment with working parts of cultivation and digging machines

The article describes the mechanism of interaction between working parts of cultivation and digging machines (WPCDM) to disperse the soil environment and the mathematical model of the process, which sufficiently meets the structure and interaction of adjacent WPCDM soil layers during its cultivation.

The process of deterioration in tribosystem "WPCDM - ground" and highlighted the main factors affecting the intensity of abrasive wear in bulk soil : the nature and shape of the structural components of the material WPCDM; nature and hardness of the abrasive soil; degree of coherence abrasive soils in parts (AP); AP pressure on the working surface WPCDM; wearing capacity of the soil.

Consider three basic types of fracture surface of the metal in the interaction of AP during wear WPCDM and investigated the mechanisms of their occurrence. The influence of the ratio of the hardness of alloys on the nature of their destruction by corrosion- mechanical wear.

With the physical modeling of the processes used similarity frictional interaction WPCDM from the ground: it is necessary and sufficient that the model and the object "WPCDM -ground" realized almost identical temperature and force fields . By analyzing the properties of the soil as particulate material and its deformation properties considered that frictional interaction WPCDM of soil is determined by several criteria.

For theoretical analysis of contact interaction of dispersed soil environment with a solid surface WPCDM taken AP spherical shape. The model soil on the following: the distribution of diameters corresponding to research data on the fractional composition; for each fraction boundary layer of soil is half filled with abrasive particles are uniformly distributed in the volume occupied ; normal force of abrasive particles that are included in touch and at the same time acting on the solid surface WPCDM proportional to its cross -section; Growth of the normal force is evenly distributed over all contacting AP.

To describe the density distribution of the size of AP in the soil used geometric - probabilistic methods that make it possible to study AP stereometric characteristics of soil based on statistical analysis of cross-sections by planes parallel to the work surface WPCDM.

When creating models of real AP balls accounted for deviations from the regular geometric forms with form factor, which is defined as the ratio of the largest size to the smallest or most probable value of this ratio.

Shows statistical description of geometry AP, that allows to specify their distribution in size and weight, and get the equation compaction adjacent layer to WPCDM, given of stressedly-deformed state (SDS). The dependence of the elastic contact area of the normal load goes from linear to non-linear, and the average pressure becomes constant and is elastic firmness. Thus, at any time change the nature of the contact interaction and the related deformation properties of the surface layer WPCDM.

soil, grit, working parts of cultivation and digging machines, interaction model, the boundary layer, the density distribution

Одержано 28.04.14