



УДК 631.316

ВЗАЄМОДІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН З ГРУНТОМ

Коломієць С. М., к.т.н.,

Вершков О.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.(0619) 42-24-36

Анотація – у статті зроблено аналіз досліджень взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом та надані залежності для оптимізації технологічних і кінематичних показників режиму робочих органів, що сприятиме зменшенню енергоємності процесу передпосівного обробітку ґрунту та підвищенню продуктивності машин.

Ключові слова – ґрунт, робочий орган, деформація, переміщення, руйнування, опір, тертя, відкидання стружки, ротор, фреза, ніж, подача.

Постановка проблеми. Функціонально-якісне наповнення техніко-технологічного забезпечення передпосівного обробітку ґрунту в Україні на цей час повинне бути кращим. Існуючі ґрунтообробні машини не забезпечують належні якості обробітку та продуктивності. Для забезпечення наукового обґрунтування параметрів робочих органів, окрім знань з функціонування ґрунтообробних машин для передпосівного обробітку ґрунту та їх кінематики, необхідні глибокі дослідження взаємодії робочих органів з ґрунтом.

На даний час немає науково обґрунтованих формул для визначення опору ґрунту робочому органу ґрунтообробної машини [1, 2]. Статичні методи досліджень не дають виходу на обґрунтування параметрів, тому дослідження взаємодії ґрунтообробних робочих органів з ґрунтом на основі методів землеробської механіки є актуальним.

Аналіз останніх досліджень. З аналізу літературних джерел випливає, що питання взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин для передпосівного обробітку ґрунту на даний час недостатньо вивчені. Подальше поглиблене вивчення цього питання з застосуванням методів землеробської механіки є необхідним.

Формулювання цілей статті. Мета статті – отримати залежності, за допомогою яких, через оптимізацію технологічних і кінематич-

них показників режиму робочих органів ґрунтообробних машин, сприяти зменшенню сил опору ґрунту на робочому органі, тобто енергоємності процесу передпосівного обробітку ґрунту.

Основна частина. Під час передпосівного обробітку ґрунту через технологічну дію робочих органів ґрунтообробної машини на ґрунт відбувається його деформація, переміщення і руйнування. Вид деформації і напруження, які виникають у ґрунті, залежать від типу і параметрів робочого органу, а також від характеристик ґрунту, як технологічного матеріалу. Головним чином властивості ґрунту визначаються механічним складом і вологістю, які змінюються у широкому діапазоні. Ізотропність властивостей, а також випадковий характер розподілу нерівномірності фізико-механічних властивостей ґрунту приводять до того, що тяговий опір машини являє собою випадкову функцію шляху або часу [1].

Вибір підходів до математичного опису процесів механічної взаємодії робочих органів з ґрунтом залежить від мети досліджень. Математичні моделі, отримані за допомогою статичних методів, не забезпечують обґрунтування робочих органів. Розглянемо взаємодію робочих органів з ґрунтом за допомогою методів класичної землеробської механіки.

Згідно відомої формули академіка В.П. Горячкіна тяговий опір плуга можна представити у вигляді тричлена

$$P = fG + kab + \varepsilon abV^2 \quad (1)$$

Перший член характеризує шкідливий опір, другий – опір ґрунту деформації і руйнуванню пласта, третій – зусилля на відкидання пласта. Таким же чином опір на ротаційному органі можна представити сумою трьох складових [2]

$$P = P_{тр} + P_p + P_{відк} \quad (2)$$

де $P_{тр}$ – опір, викликаний тертям ножа об ґрунт;
 P_p – опір різанню і деформації стружки;
 $P_{відк}$ – сила, необхідна для надання швидкості масі відкиданого ґрунту.

На основі залежностей (1) і (2) модель взаємодії робочого органа з ґрунтом можна представити як двофазову: перша фаза – підрізання ґрунтової скиби (сколювання, відрив, відрізання); друга фаза – відкидання часток ґрунту.

На рис. 1 представлена схема моделі двофазової взаємодії з перезволоженим ґрунтом розпушувальної лапи, встановленої на пружній S-подібній стійці.

У першій фазі лапа підрізає (сколює) ґрунтовий пласт (скибу), який, піднімаючись по стійці, деформується. Одночасно відбувається деформація пружної стійки, яка накопичує потенціальну енергію.

У наступній фазі ця енергія переходить у кінетичну енергію часток ґрунту. Піднімаючись по криволінійній поверхні стійки, пласт сприймає деформації згину. При цьому напруження у перерізі пласта розподіляються за гіперболічним загоном подібно до кривого стержня [3].

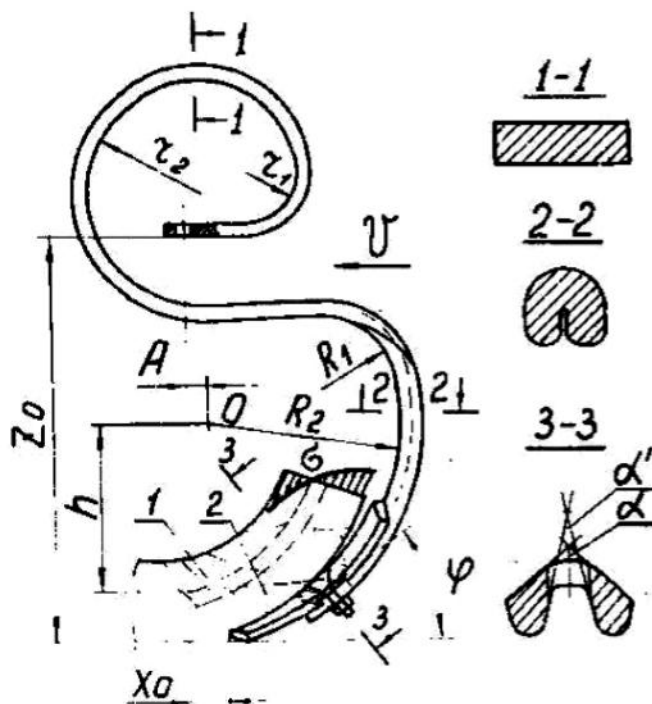


Рис. 1. Схема до визначення параметрів пружної S-подібної стійки.

Наведена модель відрізняється від моделі [4], яка не розглядає підйом підрізаного пласта по стійці, а у більшій мірі відображає процес взаємодії пружної стійки з ґрунтом, що має занижений вміст вологи.

Відмінність ротаційних робочих органів від традиційного клина полягає у тому, що на рух стружки по поверхні ножа, що обертається, наприклад, навколо вертикальної осі, робить вплив відцентрова сила інерції $F_{ц}$. При цьому можливі три випадки руху: елемент стружки відстає від ножа і сходить з нього з боку задньої кромки; обганяє ніж і сходить з нього з боку ріжучої кромки; нерухомий відносно ножа і обертається разом з ротором.

У зв'язку з тим, що розміри ґрунтової частки досить малі у порівнянні з розмірами робочого органа, то, аналізуючи вплив відцентрової сили $F_{ц}$ на швидкість і напрямок переміщення частки, розглядаємо її як матеріальну точку. На рис. 2 показані сили, що діють на частку, яка знаходиться на ножі вертикально-роторної фрези, а саме: сила ваги $P=mg$, відцентрова сила $F_{ц} = m\omega^2 R$, нормальна реакція N поверхні ножа і сила тертя $F_{тр}=fN$.

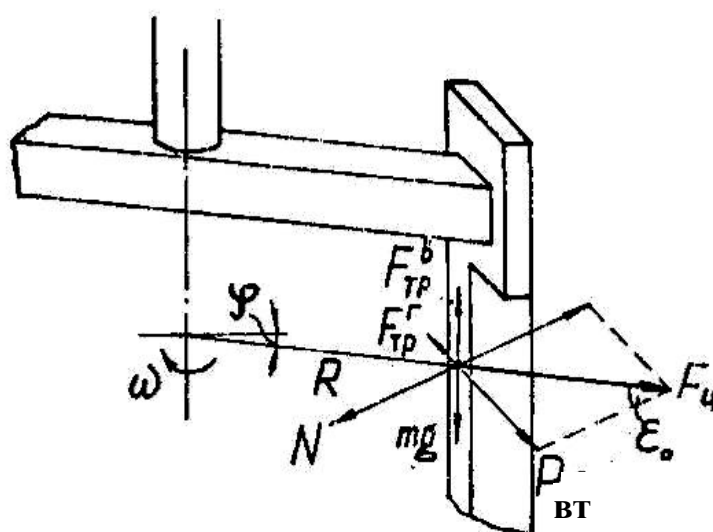


Рис. 2. Сили, що діють на елемент стружки, який знаходиться на ножі.

Умовою початку руху елемента стружки у бік ріжучої кромки є

$$P_{\text{вт}} > F_{\text{тр}}^r, \tag{3}$$

де $P_{\text{вт}}$ - сила, що втягує частку у обертання;

$F_{\text{тр}}^r$ - горизонтальна складова сили тертя.

Підставляючи у нерівність (3) значення сил (рис.2), отримуємо

$$m\omega^2 R \sin \epsilon_0 > fm\omega^2 R \cos \epsilon_0, \tag{4}$$

де ϵ_0 – задній кут різання.

Для рівноваги ґрунтового елемента у вертикальній площині необхідно

$$fm\omega^2 R \cos \epsilon_0 \geq mg, \tag{5}$$

Дослідження нерівності (5) показали, що при обробі перезвожених ґрунтів вертикально-роторні робочі органи забезпечують відкидання стружки при будь-якому куті повороту ротора φ [5].

Як слідує з рис. 3, а, вектор абсолютної швидкості частки V_a відхилиться від вектора V_a' у бік обертання, а переміщення часток не буде спрямоване до осі обертання, що унеможливує забивання ротора ґрунтом.

Різання ґрунтів з заниженим вмістом води треба розглядати з урахуванням ударної взаємодії [2]. Відрізання стружки відбувається в інтервалі повороту ротора на кут біля 180° , що відповідає для режимів роботи сучасних машин інтервалу часу менш ніж 0,15 с. Малий час силової взаємодії у сполученні з високою швидкістю (до 15 м/с) протікання процесу визначають його ударний характер.

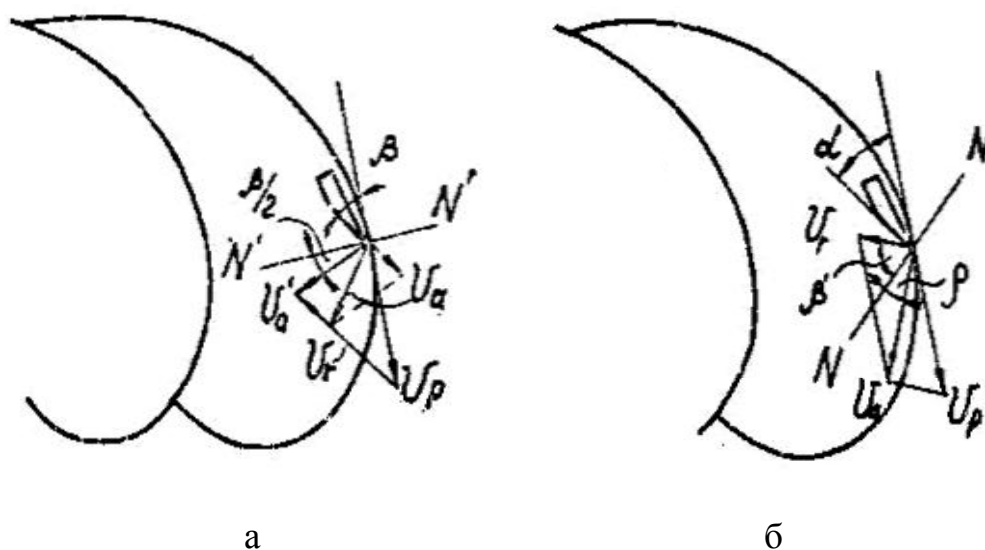


Рис. 3. Схеми взаємодії ножа з ґрунтом: а – різання перезволоженого ґрунту; б – різання сухого зв’язного ґрунту.

Переміщення частки ґрунту після удару відбувається з абсолютною швидкістю V_a (рис. 3, б), вектор якої відхилений від нормалі до зовнішньої поверхні клина на кут ρ в бік руху ножа. При визначенні величини і напрямку вектора V_a прийняті припущення:

- під час руху частка ґрунту ударяється об нерухомий ніж зі швидкістю V_p під кутом $90^\circ - \beta$ до нормалі NN;

- абсолютна швидкість руху частки ґрунту після удару V_a рівна векторній сумі відносної V_r і переносної V_p швидкостей [2].

Аналіз схеми (рис. 3, б) дає наступні результати [2]:

1 Кут відбиття рівний

$$\beta' = \arctg \frac{1-f}{K \cdot \operatorname{tg} \alpha}, \tag{6}$$

де K – коефіцієнт відновлення ґрунтової частки.

2 Відносна швидкість V_r руху часток ґрунту після удару складає

$$V_r = V_p \sqrt{(1-f)^2 \cos^2 \alpha + K^2 \cdot \sin^2 \alpha}, \tag{7}$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту об сталь.

3 Абсолютна швидкість руху часток ґрунту після удару складає

$$V_a = V_p \cdot K_v, \tag{8}$$

де K_v – швидкісний коефіцієнт, що визначається з виразу

$$K_v = \left\{ 1 + \cos^2 \alpha (1-\alpha)^2 + K^2 \sin^2 \alpha \cdot 2 \sqrt{(1-f)^2 \cos^2 \alpha + K^2 \sin^2 \alpha} \cdot \cos [90^\circ - \alpha - \arctg \frac{(1-f) \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{K}] \right\}^{1/2}. \tag{9}$$

Відомо, що ударна взаємодія ножа з ґрунтом при відрізання стружки і при повторному проході в обробленій зоні має різний характер. Крім того, попереднє розпушування знижує коефіцієнт відновлення ґрунту K [2]. Отже, швидкість відкидання V_a і, відповідно, переміщення частки ґрунту у зоні різання будуть більшими, ніж у зоні повторного проходу ножа; робочі органи вертикально-роторних машин відкидають ґрунтові частки у бік обертання.

Руху клина у ґрунті, за теорією [2], що дає подальший розвиток загальної теорії В.П. Горячкіна, перешкоджають: опір ґрунту прониканню в нього клина; опір ґрунту деформації, яку робить робоча поверхня клина; сила ваги пласта; інерція пласта; сила тертя, що виникає на робочій поверхні пласта.

Перші два види опору, зазвичай, враховуються разом, однак визначити їх теоретично неможливо. Це можна пояснити тим, що основним видом деформації ґрунту під дією клина є відрив. Для цього виду деформації ще не знайдені формули, за допомогою яких можна б було визначити опір клина [2].

Отже, визначити опір ґрунту розрахунковим шляхом за сучасною теорією ґрунтообробних машин, неможливо. Тому величину сил опору ґрунту робочому органу слід визначати на основі експериментальних досліджень.

Визначення опору ґрунту робочому органу, закріпленому на пружній стійці, має значні технічні складнощі, що веде до суперечливих результатів. Визначення питомого опору дослідних зразків вимагає значних затрат на проведення досліджень, але при цьому забезпечується отримання надійних результатів.

Дослідження ротаційних машин з силовим приводом дали наступні результати.

Опір P_p , що виникає при різанні стружки ножем вертикальної фрези

$$P_p = K_1 \cdot K_p \cdot S \cdot H, \quad (10)$$

де K_1 – коефіцієнт форми стружки;

K_p – коефіцієнт питомого опору різанню, кН/м^2 ;

S – подача на ніж;

H – глибина обробітку.

З рівності роботи на відкидання стружки і її кінетичної енергії визначено опір $P_{\text{відк}}$

$$P_{\text{відк}} = K_2 \cdot K_{\text{відк}} \cdot S \cdot H \cdot V_p^2, \quad (11)$$

де K_2 – коефіцієнт форми стружки;

$K_{\text{відк}}$ – коефіцієнт питомого опору відкиданню стружки, кг/м^3 .

З виразів (10) і (11) видно, що опір ґрунту у загальному випадку залежить від технологічних (S , H) і кінематичних (λ, K_1, K_2, V_p) показників режиму робочого органа.

Величина питомого опору K_p для ножа вертикальної фрези, зі збільшенням подачі знижується через те, що зі збільшенням подачі зменшується довжина шляху різання ножа в одиниці об'єму обробленого ґрунту, відповідно зменшується питома робота різання і погіршується якість кришення ґрунту [5].

Аналогічні дослідження на робочих органах машин з горизонтальним ротором показали, що питомі опори на ножах фрез різного типу є величинами одного порядку [2].

Величина K_p має дещо більшу величину у вертикальних фрез, ніж у горизонтальних.

Більш низьке значення $K_{\text{відк}}$ ножів вертикальної фрези пояснюється сприятливими умовами для відкидання часток ґрунту, що знаходяться на лезі ножа, так як на відміну від горизонтальних фрез, що мають граничний кут підйому елемента стружки [2], ножі вертикальної фрези забезпечують відкидання стружки практично при будь-якому куті повороту ротора навколо осі обертання [5].

Висновки. Наведені залежності дають можливість робити оптимізацію як технологічних, так і кінематичних показників режиму робочих органів ґрунтообробних машин для зменшення сил опору ґрунту робочому органу, що призведе до зменшення енергоємності процесу передпосівного обробітку ґрунту, а, в кінцевому підсумку, до підвищення ефективності машин.

Література

- 1 Лурье А.Б. Широкозахватные почвообрабатывающие машины / А.Б.Лурье, А.И. Любимов.- Л.: Машиностроение, 1981.- 270 с.
- 2 Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов.- М.: Машиностроение, 1977.- 328 с.
- 3 Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев.- К.: Наукова думка, 1988.-736 с.
- 4 Кушнарев А.С. Использование реологии почв для определения оптимальных параметров рабочих органов почвообрабатывающих орудий / А.С. Кушнарев.- Киев: Научные труды УСХА, вып.51: Повышение работоспособности деталей сельскохозяйственных машин, 1971.- С. 208-214.
- 5 Седнев Н.А. Анализ работы ротационного рыхлителя / Н.А. Седнев // Тракторы и сельхозмашины.- 1983.- №4.- С. 12-14.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН С ПОЧВОЙ

С.М.Коломиец, А.А.Вершков

Аннотация - в статье проведен анализ исследований взаимодействия рабочих органов почвообрабатывающих машин с почвой и приведены зависимости для оптимизации технологических и кинематических показателей режима работы рабочих органов, что будет способствовать уменьшению энергоемкости процесса предпосевной обработки почвы и повышению производительности машин.

COOPERATING OF WORKINGS ORGANS OF MACHINES FOR TREATMENT OF SOIL WITH SOIL

S. Kolomiyets, O. Vershkov

Summary

In the article the analysis of cooperation of workings organs machines for treatment of soils conducted with soil and dependences are resulted for optimization of technological and kinematics indexes of the mode of operations of workings organs, that will be instrumental in diminishing of power-hungryness of process of preseed treatment of soil and increase of the productivity of machines.