

УДК[631.312.021:634] (672.64)

ПРОЕКТУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН, ЯКІ ВЗАЄМОДІЮТЬ З ГРУНТОМ

Караєв О.Г., д.т.н.,

Матковський О.І., к.т.н.,

Чижиков І.О., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного (м. Мелітополь, Україна),*

Рубцов Н.О., к.т.н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет
імені Богдана Хмельницького (Україна)*

Запропоновано математичну модель проектування поверхонь робочих органів машин, які взаємодіють з ґрунтом. Доведено, що проектування робочих органів ґрунтообробних машин, яке передбачає мінімізацію енерговитрат з досягненням нормативної якості, може бути здійснено вирішенням не прямої а обертової задачі, а саме: визначення сили тиску ґрунту певного стану на поверхню робочого органу, яка проектується. Для визначення сили тиску ґрунту на поверхню робочого органу запропоновано враховувати такі властивості ґранту, як пружність скелету та зв'язки між ґрунтовими агрегатами, які обумовлені в'язким (ньютонівським) і сухим (кулонівським) тертям.

Зазначено, що значення сил внутрішніх зв'язків між агрегатами ґрунту можуть бути встановлені шляхом визначення значень дотичних і нормальних напружень в будь якій точці поверхні, яка проектується. При визначенні значень дотичних і нормальних напружень, які виникають на поверхні робочого органу, необхідно враховувати положення елементарної площини поверхні до горизонту, яку можна враховувати як «підпірну стінку». Це дозволяє визначати силу тиску ґрунту на елементарну площину поверхні за методикою, розробленою В.В. Соколовським. Силу тиску ґрунту на елементарну площину поверхні робочого органу, яка визначається значеннями дотичних і нормальних напружень, запропоновано визначати шляхом встановлення мінімального тиску ґрунту на елементарну площину поверхні робочого органу. Такий тиск запропоновано враховувати у якості критерію оптимізації, який полягає у визначенні таких параметрів форми поверхні, за яких енерговитрати на відділення ґрунтової скиби були б мінімальними. Для отримання значень критерію оптимізації запропоновано інтегральне рівняння з урахуванням припущення, що опір робочого

органу у будь-якій частині його поверхні залежить тільки від глибини копання.

Ключові слова: викопувальна скоба, форма поверхні, ґрунт, напруження, сила тиску, енерговитрати.

Постановка проблеми. Існуючі методи проектування поверхонь робочих органів машин, які взаємодіють з ґрунтом, типи яких представлені нижченаведеною класифікацією, спрямовані на вирішення прямої задачі, а саме: задається необхідний вид деформації в ґрунті (стиснення, розтягнення), при якому внутрішні сили зв'язків між агрегатами ґрунту руйнуються, а потім визначаються необхідні параметри форми і положення поверхні робочого органу, які мають забезпечити визначену силу тиску на ґрунт [1-3].

Одним з недоліків таких методів є те, що вони на стадії проектування не повною мірою забезпечують можливість прогнозування величини значень співвідношення між ефектами і витратами (між заданою якістю і витратами енергії на процес). Вирішення даної проблеми забезпечується за рахунок застосування обертової задачі, сутність якої полягає у врахуванні сили тиску на ґрунт з певними характеристиками його стану на поверхню робочого органу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує класифікація типів робочих органів за ознакою кількості утворених стінок робочим органом в ґрунті за різних видів різання [1]:

1) вільне різання – утворюється одна стінка, яка розташована горизонтально (лапи культиваторів, плоскорізів);

2) напіввільне різання – утворюється одна вертикальна і одна горизонтальна стінки (корпуси плугів, лопати грейдерів, бульдозерів)

3) блоковане різання – утворюється три стінки: одна горизонтальна і дві вертикальні (скоби, ковші екскаваторів).

В даній класифікації вважається що вертикальні і горизонтальні стінки, які утворюються робочим органом в ґрунті, є площинами. Такі стінки утворюються робочими органами з відповідними параметрами форми і положення їх структурних елементів. При вирішенні різних задач проектування поверхні структурних елементів робочих органів можуть мати площинні та криволінійні форми.

При цьому, виникає необхідність визначення значень дотичних і нормальних напружень, які виникають в будь якій точці поверхні і, тим самим, прогнозувати, за якими параметрами поверхонь досягається нормативна якість при мінімальних витратах енергії на переміщення робочого органу в ґрунті. Тобто, виникає можливість

прогнозувати рівень співвідношення між ефектами і витратами.

Формулювання цілей статті. Розробити математичну модель щодо визначення оптимального співвідношення між ефектами і витратами на процес різання ґрунту робочими органами машин шляхом прогнозування сили тиску ґрунту на поверхню робочого органу за рахунок врахування значень дотичних і нормальних напружень, які виникають в будь якій точці поверхні.

Основна частина. Розроблення математичної моделі здійснено для блокованого різання. Одним з робочих органів, яким здійснюється таке різання, є скоба плуга для викопування плодкових саджанців. Конструктивна схема скоби наведена на рис. 1.

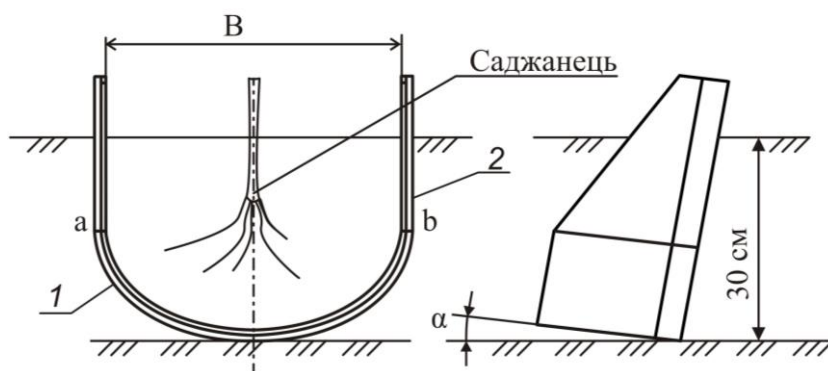


Рис. 1. Конструктивна-технологічна схема скоби плуга для викопування саджанців: 1 – горизонтальна частина скоби (ab); 2 – вертикальна частина скоби; α – кут різання

Горизонтальна частина скоби 1 має криволінійну форму поверхню, а вертикальні 2 – є профільними площинами.

Обґрунтування параметрів форми поверхні криволінійної частини скоби здійснено відповідно до схеми (рис.2).

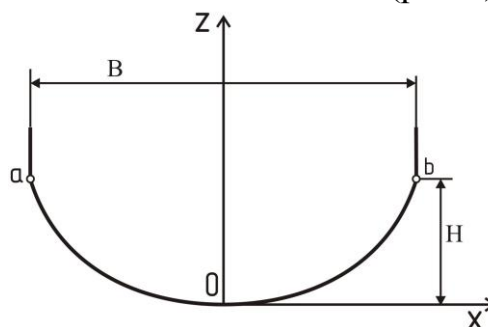


Рис. 2. Схема для визначення параметрів форми поверхні криволінійної частини скоби

Горизонтальна частина скоби ab встановлена під кутом α до осі Oy і має розміри: шириною захвату B і висоту H .

Задача досліджень полягала у визначенні таких параметрів

поверхні криволінійної частини скоби, за яких енерговитрати на відділення скиби ґрунту від масиву були б мінімальними.

Припущення: вважається, що опір будь якої частини криволінійної поверхні скоби Q (рис.3) залежить тільки від глибини копання і є незалежним від вертикальних частин скоби. Тому, в подальшому будемо розглядати тільки криволінійну частину скоби.

Визначення цільової функції здійснено за схемою, яку наведено на рис. 3.

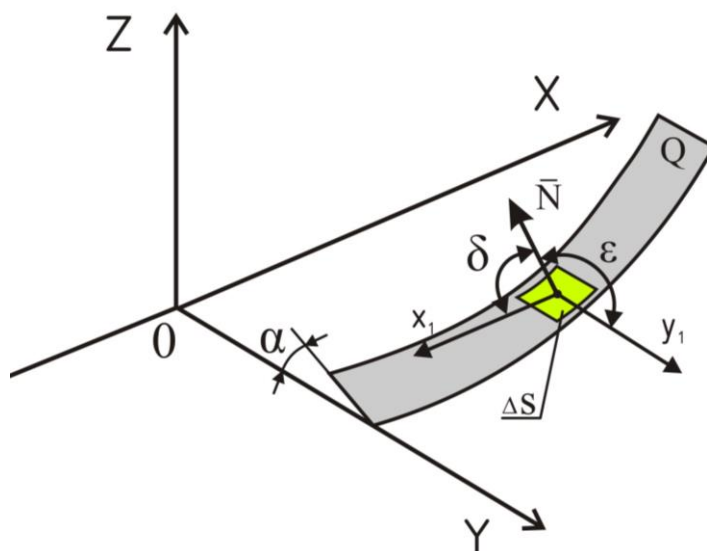


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення цільової функції

Для визначення тиску ґрунту на поверхню скоби Q її представлено елементарною площиною ΔS з вектором нормалі \bar{N} , визначеним двома поворотами навколо осі Oy , і Ox .

Значення відхилення від осі Oy пов'язано з відхиленням поверхні Q на кут α , а значення відхилення від осі Ox пов'язано з поворотом навколо елементарній площині поверхні скоби Q на кут δ .

Тоді

$$(0;0;1) \Rightarrow (-\sin \delta; 0; \cos \delta) \Rightarrow \bar{N} = (-\sin \delta; \sin \alpha \cos \delta; \cos \alpha \cos \delta)$$

де $\delta = \arctg f'(x)$,

а кут ε між вектором \bar{N} і віссю Oy буде дорівнювати

$$\varepsilon = \arccos(\sin \alpha \cos \delta). \quad (1)$$

Сила тиску на елементарну площину буде дорівнювати

$$F = (\tau \sin \varepsilon + \sigma \cos \varepsilon) \Delta S, \quad (2)$$

де τ – дотичні напруження на елементарній площині поверхні скоби;
 σ – нормальні напруження на елементарній площині поверхні скоби;
 ΔS – елементарна площа поверхні скоби.

Поверхню викопувальної скоби можна розглядати як певну сукупність положень ΔS до горизонту і вважати її як підпірну стінку.

$$\sigma = \sigma(v, h) = \begin{cases} A_1 \left(\gamma \cdot h + c \cdot \operatorname{tg} \rho + p - \frac{c}{A_1} \operatorname{ctg} \rho \right) & \text{для } \lambda_1 \\ A_3 \left(\gamma \cdot x + c \cdot \operatorname{ctg} \rho + p - \frac{c}{A_3} \operatorname{ctg} \rho \right) & \text{для } \lambda_2 \\ \gamma \cdot h \cdot \cos^2 \rho + p & \text{для } \lambda_3 \end{cases}, \quad (6)$$

- дотичного складової:

$$\tau = \tau(v, h) = \begin{cases} A_2 \left(\gamma \cdot h + c \cdot \operatorname{ctg} \rho + p - \frac{c}{A_2} \right) & \text{для } \lambda_1 \\ A_4 \left(\gamma \cdot x + c \cdot \operatorname{ctg} \rho + p - \frac{c}{A_4} \right) & \text{для } \lambda_2 \\ \gamma \cdot h \cdot \cos \rho \sin \rho + c & \text{для } \lambda_3 \end{cases}, \quad (7)$$

де γ – щільність ґрунту; ρ – кут внутрішнього тертя; p – нормальний тиск; c – величина зчеплення ґрунту.

Коефіцієнти A_1, A_2, A_3, A_4 визначаються за формулами:

$$A_1 = \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\beta}{1 - \sin \rho}, \quad A_2 = \frac{\sin \rho \cdot \sin 2\beta}{1 - \sin \rho},$$

$$A_3 = \left(\frac{\cos \varphi (\cos \varphi + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \varphi})}{1 - \sin \rho} \times \exp \left(2\beta - \pi + \varphi + \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \rho} \right) \operatorname{tg} \rho \right), \quad (8)$$

$$A_4 = \left(\frac{\sin \varphi (\cos \varphi + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \varphi})}{1 - \sin \rho} \times \exp \left(2\beta + \pi + \varphi + \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \rho} \right) \operatorname{tg} \rho \right).$$

Для отримання критерію оптимізації здійснено інтегрування рівняння (2) з урахуванням прийнятого припущення – $a\beta/2$.

Тоді критерій оптимізації прийняв такий вигляд

$$\int_0^{\frac{B}{2}} \int_0^H \left[\tau(v, h) \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{1 + f'^2(x)}} + \sigma(v, h) \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 + f'^2(x)}} \right] \times \sqrt{1 + f'^2(x)} dx dz \rightarrow \min, \quad (9)$$

де

$$v = \arccos \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 + f'^2(x)}} \quad (10)$$

$$h = H - f(x) \cos \alpha - z \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (11)$$

де v – поточна координата положення ΔS по осі X ;

h – поточна координата положення ΔS по осі Z .

Рішення даної функцію будемо шукати методом степеневих рядів, який є достатнім для розв'язання даного класу задач.

Тоді дана функція може бути представлена виразом

$$f(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k, \quad (12)$$

і має задовольняти умовам:

$$f(0) = 0$$

$$f(B/2) = H.$$

Тоді маємо

$$a_n = \left(\frac{B}{2}\right)^n \left(H - \sum_{k=1}^{n-1} a_k \left(\frac{B}{2}\right)^k \right) \quad (13)$$

та з урахуванням того, що поверхня скоби є увігнутою маємо умову

$$\sum_{k=2}^n k(k-1)a_k x^{k-2} > 0, \quad \forall x \in [0; B/2]. \quad (14)$$

З урахуванням наведеного, задача оптимізації параметрів поверхні скоби зводиться до визначення набору коефіцієнтів:

$$(a_1, a_2, \dots, a_{n-1}) \in [0; +\infty) \times \dots \times [0; +\infty),$$

який для функції заданої рівняннями (12) і (13) забезпечує виконання умови (14) при досягненні мінімуму функціонала (9).

Висновки. 1. Доведено, що проектування робочих органів ґрунтообробних машин, де передбачається мінімізація енерговитрат з досягненням нормативної якості, може бути здійснено вирішенням не прямої, а обертової задачі: визначення сили тиску ґрунту певного стану на поверхню робочого органу, який проектується.

2. Встановлено, що при проектуванні робочих поверхонь знарядь, які взаємодіють з ґрунтом, доцільним є формування в будь яких точках поверхонь таких напружень, при яких досягається необхідний ступінь впливу на внутрішні зв'язки між агрегатами ґрунту, які обумовлені в'язким (ньютонівським) і сухим (кулонівським) тертям з досягненням мінімальних значень енерговитрат.

Література

1. Ветров Ю.А. Резание ґрунтов землеройными машинами. М. Машиностроение, 1971. 340 с.
2. Дьяков В.П. Обоснование механической и энергетической моделей деформации и потери сплошности почвы. Сбор. докл. Всероссийской научно-практической конференции "Сохранение и воспроизводство плодородия почв в адаптивно-ландшафтном

- земледелии*" ГНУ ВНИИЗ и ЗПЭ РАСХН, (13-15 сентября 2011 г.- Курск.) Курск, 2011. С.147–157.
3. Бахтин П.У. Физико-механические и технологические свойства почв. М. Знание, 1971. 245 с.
 4. Панов А.И. Нетрадиционные способы обработки почвы. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1998. № 12. С.45–55.
 5. Соколовский В. В.. Статика сыпучей среды. Изд. 2. М. Гос. изд-во технико-технической литературы. 1954. 125 с.
 6. Баловнев В.И. Физическое моделирование резания грунтов. М. Машиностроение, 1969. 160 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МАШИН, КОТОРЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ С ПОЧВОЙ

Караев А.И., Матковский А.И. Чижиков И.А. Рубцов Н.А.

Предложена математическая модель проектирования криволинейных поверхностей рабочих органов машин, взаимодействующих с почвой. Доказано, что проектирование рабочих органов почвообрабатывающих машин, где предполагается минимизация энергозатрат с достижением нормативного качества, может быть осуществлено решением не прямой, а обратной задачи: определение степени влияния почвы определенного состояния на поверхность рабочего органа.

Для прогнозирования степени воздействия почвы определенного состояния на поверхность рабочего органа предложено учитывать упругость скелета почвы и связи между почвенными агрегатами, которые обусловлены вязким (ньютоновским) и сухим (кулоновским) трением. Указано, что значение сил внутренних связи между частицами почвы может быть установлено за счет определения значений касательных и нормальных напряжений в любой точке криволинейной поверхности. При определении значений касательных и нормальных напряжений, возникающих на поверхности рабочего органа необходимо учитывать положения элементарной площадки к горизонту, которую можно учитывать в качестве «подпорной стенки». Это позволяет определять силу давления грунта на элементарную площадку поверхности по методике, разработанной В.В. Соколовским. Силу давления грунта на элементарную площадку поверхности рабочего органа, которая определяется касательными и нормальными напряжениями, предложено определять путем установления минимального давления грунта на элементарную площадку поверхности рабочего органа. Такое давление предложено принять в качестве критерия оптимизации, который состоит в определении таких параметров формы поверхности, при которых

энергозатраты на отделение почвенного пласта были бы минимальными. Для получения значений критерия оптимизации предложено интегральное уравнение, учитывающее допущение, что сопротивление рабочего органа в любой части криволинейной поверхности зависит только от глубины копания.

Ключевые слова: викопачная скоба, форма поверхности, почва, напряжение, сила давления, энергозатраты.

PROJECTING OF THE MACHINE WORKING BODIES, INTERATINGN WITH SOIL

Karaiev O.G. Matkovskiy O.I. Chyzykov I.O. Rubtsov M.O.

The method for curved surfaces designing of machine working parts surfaces interacting with soil environment has been proposed. It has been proved that tillage machines working parts designing, presupposing energy saving minimization aimed at normative quality reaching, can be reached not by means of direct problem solution, but the inverse one, that is, by means of defining the degree of influence of certain state of soil environment on the working part surface being designed.

To predict the degree of influence of certain state of soil environment at the working part surface it has been proposed to take into account the properties, that is, skeleton resiliency as well as soil parts connections, being preconditioned by viscous (Newtonian) and dry (Coulomb) friction. It has been noted, that the magnitude of inner connections between soil parts can be defined at the expanse of tangential and normal tension defining at any point of curved surface being designed. When defining the values of tangential and normal tensions that occur on the working part surface it is important to take into account the location of elementary surface to horizon, that can be considered as "supported wall". It enables to define soil pressure force at elementary surface plane according to the methods, having been worked by V.V. Sokolovsky. Soil pressure force at the elementary working part surface, being defined by the values of tangential and normal tensions, is being proposed to define at the expanse of defining the minimal soil pressure at the elementary working part surface. Is proposed to take into account such a pressure as optimization criterion, which presupposes the defining the following parameters for surface forms, under which energy consumption for soil slice separation should be minimal. Forgetting the optimization criterion values the integral equation, taking in to account the following as sumptions, has been proposed: it is considered, that resistance at any part of working part curved surface depends only at digging depth and doesn't depend on vertical parts.

Key words: excavation bracket, surface form, pressure, soil environment, pressure force, energy consumption.