

631.319.2

А.В. Войтік, доц., канд. техн. наук, А.А. Головатюк, канд. с.-г. наук, М.Г. Гнатюк
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна,
E-mail: av.afex81@gmail.com

Дослідження складових опорю ґрунту при роботі щіткових пристроїв

В статті розглянуто силову взаємодію прутка ворсу циліндричної щітки з ґрунтом в процесі видалення останнього з валків, що вкривають кореневу систему маточних рослин. Встановлено, що на енергоємність процесу будуть впливати сили в'язкості ґрунту, статичного опорю його частинок та опорю на відкидання ґрунту з валка. Також на опір впливають сили, що викликані переміщенням ущільненого ядра та сили тертя призми волочіння по поверхні прутка та ґрунтового валка.

опір, тертя, сила, пруток, щітка, деформація, в'язкість

А.В.Войтик, доц., канд. техн. наук, А.А.Головатюк, канд. с.-г. наук, М.Г.Гнатюк
Уманский национальный университет садоводства, г. Умань, Украина

Определение составляющих сопротивления почвы при работе щеточных устройств

В статье рассмотрено силовое взаимодействие прутка ворса цилиндрической щетки с ґрунтом в процессе удаления последнего из валков, покрывающих корневую систему маточных растений. Установлено, что на энергоёмкость процесса будут влиять силы вязкости ґрунта, статического сопротивления его частиц и сопротивления на отбрасывание ґрунта из валка. Также на сопротивление влияют силы, вызванные перемещением уплотнённого ядра и силы трения призмы волочения по поверхности прутка и почвенного валка.

сопротивление, трение, сила, пруток, щетка, деформация, вязкость

Постановка проблеми. Для розвитку садівництва в Україні потрібно забезпечити виробництво високоякісного посадкового матеріалу. Але через низький рівень механізації в розсадництві маємо високу собівартість продукції та низьку її якість. Застосування ручної праці для виконання багатьох технологічних процесів з вирощування посадкового матеріалу негативно впливає на якість робіт та агротехнічні строки їх проведення. Щоб покращити ситуацію в галузі розроблена та впроваджується у виробництво спеціальна машина для механізації технологічного процесу відкриття кореневої системи маточних рослин. Розгортальник РВМ-1 являє собою раму з механізмом навіски, на якій послідовно встановлені відгортачі у вигляді сферичних дисків та активні щіткові робочі органи з вертикальною віссю обертання, на яких закріплено еластичний ворс. Проте, затрати потужності на привід таких робочих органів невідомі. Для їх визначення потрібно знайти сили опорю при роботі щіток з еластичним ворсом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розрахунок кінематичних та динамічних залежностей циліндричної щітки з горизонтальною віссю обертання, яка встановлена під кутом до напрямку руху машини, виконаний Л.М. Гусевим [1]. Результатом стала система рівнянь для визначення реакції поверхні на пруток ворсу відповідно до кута повороту щітки. Також Л.М. Гусев привів силовий аналіз роботи щіткових пристроїв як циліндричних з горизонтальною віссю обертання, так і конічних – з вертикальною. Була розглянута залежність сил тяги від способу закріплення щіток на рамі машини, приведені результати досліджень вібрації прутків ворсу, а також вплив на ці процеси способів кріплення ворсу на щітках та кінематичних режимів їх роботи.

Б.М. Долганін [2] дослідив жорсткість синтетичних матеріалів, що застосовуються в якості ворсу щіток, а також визначив як на неї впливають фізико-метеорологічні умови роботи щітки. На основі цих досліджень ним було встановлено, що ворс з полімерних матеріалів є більш стійким до злому та більш зносостійким, ніж металевий ворс. Полімерний ворс дешевший у виготовленні і дозволить економити кошти при застосуванні його замість металевого.

Об'єднавши результати своїх теоретичних та експериментальних досліджень в спільній роботі [3], Б.М. Долганін та Л.М. Гусев приводять метод розрахунку основних конструктивних параметрів щітки відповідно до умов її роботи.

Дані роботи були присвячені вивченню питання взаємодії ворсу щіток з твердою поверхнею, в основному – асфальтом. Питання взаємодії щіток з ґрунтом не досліджувалося.

Постановка завдання. Потрібно визначити залежності між фізико-механічними параметрами ґрунту та геометричними параметрами ворсу, що будуть впливати на енергозатрати при розкритті кореневої системи маточних рослин. Знайшовши сумарну силу опору ґрунту при роботі циліндричної щітки з еластичним ворсом знайдемо параметри роботи, при яких можна буде мінімізувати затрати енергії на видалення ґрунту з валка. Для цього потрібно визначити всі складові сили опору, які діють на прутки ворсу у процесі його роботи.

Виклад основного матеріалу. Пруток ворса циліндричної щітки, який має прямокутний поперечний переріз, в процесі його роботи по переміщенню частинок ґрунту можна розглядати як двограний клин (рис. 1).

Ефективність роботи щітки залежить від того, під яким кутом до поверхні борозни, яка утворюється після проходження прутка, знаходиться передня робоча грань прутка ворсу у робочій фазі. При його значенні більше 90° ґрунт прутком не видаляється, а лише ущільнюється, що є неприпустимо для виконання технологічного процесу. Для підрізання і видалення частинок ґрунту цей кут повинен бути гострим і наближатися до значення, яке визначається нерівністю

$$90^\circ - \varphi \geq \nu, \quad (1)$$

де φ – кут тертя ґрунту по поверхні прутка.

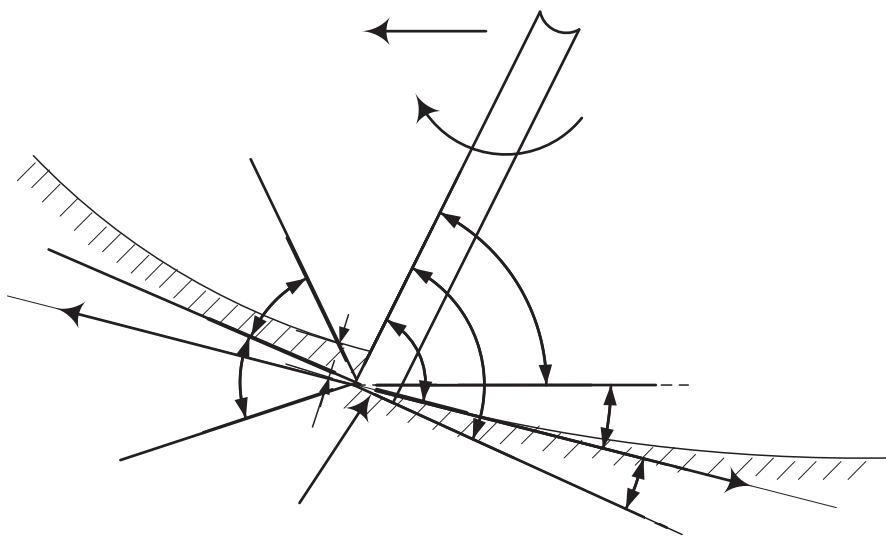


Рисунок 1 – Схема дії сил на прутки ворсу

При значеннях кута ν , близьких до 90° , відбувається сколювання або зсув частинок ґрунту. В цьому разі сила опору переміщенню передньої грані прутка ворсу буде направлена по вектору абсолютної швидкості v його кінця в протилежний бік. Сила збільшується від нуля з початку контакту прутка з ґрунтом і зростає по ходу обертання щітки.

Але, при куті $\nu = 90^\circ$ враховуючи, що кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi_m \approx 45^\circ$, частина ґрунту буде сколюватися і видалятися вздовж лінії ковзання, а інша частина – лише ущільнюватиметься.

З іншого боку при куті $\nu \approx 90^\circ$ прутки, зустрічаючись з рослиною, буде прогинатися і минати рослину при меншій реакції з її сторони чим при меншому значенні цього кута ν , тобто зменшується ймовірність механічного пошкодження рослин.

Одночасно задня грань, яка є нижнім обрізом прутка, утворює з дном борозни задній кут кришення ε_3 в горизонтальній площині (рис. 1). Цей кут в залежності від орієнтації прутка може бути від'ємним при умові $\nu < 90^\circ$.

У такому випадку задня грань ущільнює шар ґрунту товщиною

$$h_3 = b \sin \varepsilon_3, \quad (2)$$

де b – товщина прутка ворсу, мм.

Недоліком цього явища є виникнення реактивної сили R_3 , яка збільшує опір прутку та обумовлює його виштовхування з ґрунту, і дорівнює:

$$R_3 = \frac{k_3 h_3 b}{2 \sin \varepsilon_3 \cos \varphi}, \quad (3)$$

де k_3 – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту;

φ – кут тертя прутка по ґрунту.

Під час руху прутка ворсу в фазі холостого ходу (при відсутності контакту з ґрунтом) мають місце пружні коливання, що виникають внаслідок прогину ворсу в робочій фазі та різкого його випрямлення після її закінчення. Але враховуючи те, що, кріплення прутка ворсу в маточині щітки жорстке, деформації, які виникають у прутку ворса, не перевищують межі пружності матеріалу та ворс має постійну жорсткість по довжині прутка, знехтуємо силами інерції.

Розглянемо сили, дія яких суттєво впливає на роботу прутка ворсу циліндричної вертикальної щітки.

Сила F , що діє на прутки ворсу в процесі його роботи, викликана опором переміщенню (рис. 1). За точку прикладення сили візьмемо кінець прутка ворсу, що знаходиться в контакті з ґрунтом. Саме в цій точці відбувається сколювання частинок ґрунту. Як сказано вище, сила опору переміщенню F направлена по напрямку вектора абсолютної швидкості кінця прутка ворсу, але в протилежний йому бік. Тобто, сила F буде направлена по дотичній до поверхні ґрунту в точці контакту з прутком ворсу.

Загальний опір переміщенню прутка ворсу можна визначити, як суму опорів, що спричинені силою в'язкості ґрунту F_1 , силою статичного опору сипучих частинок ґрунту F_2 та силою опору відкидання частинок ґрунту F_3 [4, 5, 6].

$$F = F_1 + F_2 + F_3. \quad (4)$$

Складова F_1 залежить від в'язкості ґрунту на зсув та довжини ділянки зсуву. Остання, в свою чергу, залежить від подачі ґрунту на пруток, яка по аналогії подачі на ніж фрези визначається як

$$S = \frac{2\pi v_a}{\omega z}, \quad (5)$$

де v_a – швидкість руху агрегату, м/с;

ω – кутова швидкість щітки, рад/с;

z – кількість прутків ворсу в одному горизонтальному ряду щітки, шт.:

Враховуючи вищесказане та приймаючи значення кута φ_m внутрішнього тертя ґрунту рівним 45° , сила в'язкості ґрунту визначатиметься як:

$$F_1 = \frac{2\pi\eta v_a v}{\omega z} \sin \alpha_i. \quad (6)$$

Складова F_2 сили опору визначається з рівняння:

$$F_2 = \frac{([\tau] - c)2\pi a v_a \sin \alpha_i}{\operatorname{tg} \varphi_m \omega z}, \quad (7)$$

де $([\tau] - c)$ – нормальний опір ґрунту зсуву, Н/м²;

α_i – кут повороту щітки відносно початкового положення, рад;

a – ширина шару ґрунту, що відокремлюється, прийнята рівною ширині прутка ворсу, м.

Для визначення опору відкидання ґрунту потрібно знати секундну потужність $N_{\text{від}}$ на відкидання ґрунту прутком, яка залежить від швидкості відкидання. На цей показник вагомий вплив буде мати форма робочого органу, яким ґрунт відкидається, та матеріал, з якого він виготовлений. Коефіцієнт тертя залежить від матеріалу прутка ворсу. Ми приймаємо за матеріал ворсу поліпропілен, який в даний час виробляється промисловістю, широко застосовується в комунальному господарстві і має позитивні якості для застосування в сільськогосподарському виробництві. Цей матеріал має достатній температурний діапазон використання $-40 \dots 150^\circ\text{C}$. Поліпропіленовий ворс має в 2,2 рази більшу зносостійкість, ніж ворс зі сталеної проволочки. Із властивостей самого ґрунту великий вплив на третю складову матиме щільність.

Враховуючи все, опір відкиданню ґрунту дорівнює

$$F_3 = \frac{N_{\text{від}}}{v} = \frac{\pi a v_a v h k_{\text{від}}^2 \mu}{z \arccos \left(1 - \frac{h}{R_{\text{ш}}} \right)}, \quad (8)$$

де v – швидкість відкидання ґрунту прутком ворсу, м/с.

Аналізуючи рівняння (8), можна зробити наступні висновки. При збільшенні ω зменшується подача ґрунту S , а тому і сила F теж зменшується. Подальше збільшення ω хоча і зменшує подачу, але значно збільшує абсолютну швидкість v кінця прутка ворсу, що збільшує опір ґрунту відкиданню шЗ, а також потребує більшого зусилля для подолання в'язкості ґрунту F_1 . Тому існує мінімум функції в межах $\omega = 17 \dots 25$ рад/с. Кутову швидкість в цих межах можна рахувати раціональною. Збільшення швидкості руху агрегату v_a лінійно збільшує силу F , а збільшення кількості прутків z прутків ворсу навпаки, лінійно зменшує F .

Одночасно на пруток ворсу можуть діяти й додаткові сили опору. Одна з них – це сила, викликана від переміщення ущільненого ядра, що налипає на поверхні робочої кромки (рис. 2). При цьому взаємодія прутка ворсу і ґрунту відбувається за посередництвом цього ущільненого ядра. Це явище може значно впливати на затрати енергії при роботі щітки.

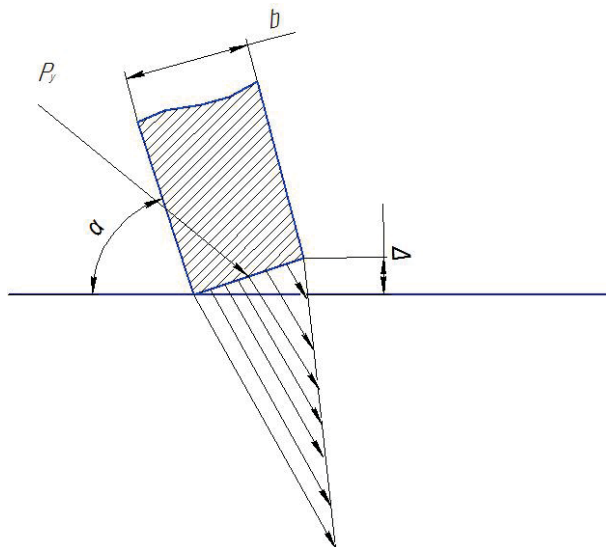


Рисунок 2 – Схема сил, що діють на робочу кромку з ядром ущільнення

Розглянемо випадок, коли пруток видаляє шар ґрунту товщиною Δ , при цьому він знаходиться до поверхні ґрунту під кутом α . У цьому разі внизу кромки затуплення виникне ядро ущільнення, яке буде вдавлюватися вниз і одночасно рухатиметься разом з прутком. Крім цього, між ядром ущільнення та поверхнею ґрунту виникатиме сила тертя, що намагатиметься зірвати ядро з кромки.

Горизонтальну складову сили опору від переміщення ядра ущільнення можна визначити з наступного рівняння [7]:

$$P_y^x = \frac{Kab \cos \alpha}{2 \tan(\alpha - \varphi_1)}, \quad (9)$$

де K – питома щільність ґрунту, Па;

φ_1 – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Повертаючись до сили тертя, можна відмітити такі її складові. Це опір при переміщенні ущільненого ядра або призми волочіння та опір при переміщенні ґрунту по поверхні прутка. Потрібно сказати, що розглядати взаємодію зрізаної стружки з ґрунтом, що залишився чи з призмою волочіння є не вірно. Тут потрібно розглянути лише взаємодію робочого органу і ґрунтової стружки.

А от при визначенні опору переміщення призми волочіння потрібно врахувати її взаємодію як з робочим органом, так і з ґрунтом [8]. В сумі ці взаємодії будуть викликати опір переміщенню прутка ворсу в робочій його фазі та їх можна виразити загальним значенням, як силу опору від тертя.

$$P_T = g\rho V_n f_n, \quad (10)$$

де ρ – об'ємна маса ґрунту, кг/м^3 ;

V_n – об'єм призми волочіння, м^3 ;

f_n – коефіцієнт опору переміщення призми волочіння по ґрунтовій і робочій поверхні.

Висновки. Визначена залежність сили опору F переміщенню прутка в ґрунті від основних параметрів щітки, як сума опорів, що спричинені силою в'язкості ґрунту, силою статичного опору частинок ґрунту та силою опору відкидання частинок ґрунту показала, що існує мінімум функції в межах зміни колової швидкості прутків ворсу від 3 до 6 м/с, коли F приймає мінімальні значення до 0,3 Н на один пруток. Перевірка у виробничих умовах показала похибку даного значення від 3 до 7 %. В більшій мірі дана похибка пояснюється присутністю сил опору переміщення ущільненого ядра ґрунту та сил тертя при русі призми волочиння по ґрунту та поверхні робочого органу.

Список літератури

1. Гусев, Л.М. Расчёт и конструкции подметально-уборочных машин [Текст] / Л.М. Гусев. – М.-Л.: Машгиз, 1963. – 271 с.
2. Долганин, Б.М. Применение синтетического ворса в щётках подметально-уборочных машин [Текст] / Б.М. Долганин // Механизация работ в коммунальном хозяйстве. – 1968. – Вып. 59, № 3. – С. 35–42.
3. Долганин, Б.М. Метод расчёта щёток подметально-уборочных машин / Б.М. Долганин, Л.М. Гусев // Механизация работ в коммунальном хозяйстве. – 1972. – Вып. 88. – С. 118–131.
4. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1978. – 375 с.
5. Шукле, Л. Реологические проблемы механики грунтов [Текст] / Л. Шукле. – М.: Машиностроение, 1976. – 483 с.
6. Сагамонян, А.Я. Проникание [Текст] / А.Я. Сагамонян. – М.: Изд-во Московского университета, 1974. – 299 с.
7. Новые положения теории резания грунтов [Текст] / Г.Н. Карасев // Электронное издание. Строительные дорожные машины и техника. – МАДИ, 2011. Режим доступа: <http://sdm.str-t.ru/publics/73/>
8. Экспериментально-аналитическая модель копания грунта отвалом бульдозера [Текст] / Е.В. Курилов // Электронное издание Строительные дорожные машины и техника. – МАДИ, 2014. Режим доступа: <http://sdm.str-t.ru/publics/87/>
9. Артюхин, Ю.П. Произвольный изгиб консольного стержня консервативной силой / Казань. Физико-математические науки, 2013. – Т. 155. – кн.2. – С.144-157.
10. Гевко, Р.Б. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material / Р.Б.Гевко, Ю.В.Дзядикевич, І.Г.Ткаченко, С.З.Залуцький // Вісник ТНТУ. – Т.: ТНТУ, 2016. – Т. 81. – № 1. – С. 77-87.

Andriy Voytik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Anatoliy Golovatyuk, PhD agr. sci., Mikhailo Gnatyuk
Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Investigation of the Components of Soil Resistance When Working With Brush Devices

The article is devoted to the problem of the disclosure of the root system of mother plants with brush working parts. When working brushes on their pile rods there are resistance forces that require certain energy costs. By selecting rational kinematic parameters, it is possible to minimize energy costs for work.

In this work the position of the pile rod in the working phase is analyzed and the forces acting on it are determined. The main resistance force is directed opposite to the absolute velocity vector and includes three components. Firstly, these forces of resistance are caused by the viscosity of the soil, taking into account its plasticity and deformation. The force of the static resistor of the displacement of particles takes into account the properties of the soil as a friable medium simultaneously with plastic properties. Also, the force to reject soil particles is determined. It has been established that in addition to these forces, resistance is caused by the displacement of the core of the seal under the working rod and the frictional forces when driving the prisms of drawing on the surfaces of both the rod itself and the ground roll.

The dependence of the resistance strength on the movement of the rod in the soil from the basic parameters of the brush has been determined, and it has been shown that there is a minimum of function within the limits of the change in the velocity of the pile rods from 3 to 6 m / s, when the force takes the minimum values up to 0.3 N per rod.

resistance, friction, force, rod, brush, deformation, viscosity

Одержано 03.11.17