

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ЩІТКИ НА СИЛУ ОПОРУ ҐРУНТУ ТА РЕАКЦІЮ ҐРУНТОВОЇ ОСНОВИ ПРИ РОЗКРИТТІ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ МАТОЧНИХ РОСЛИН

А. В. Войтік, В. В. Кравченко, О. С. Пушка,
кандидати технічних наук

Уманський національний університет садівництва

Анотація. В статті розглянуто технології та технічні засоби для розкриття кореневої системи маточних рослин клонових підщеп. Встановлено, що раціональним варіантом є використання комбінованого пристрою з пасивними відгортачами та активними циліндричними щітками з вертикальними осями обертання і гнучкими робочими елементами. Проаналізовано робочий процес одного прутка ворсу щітки та визначено сили, які на нього діють. Знайдено умову, при якій змітальний елемент щітки буде видаляти часточки ґрунту або субстрату з валка. З використанням еліптичних інтегралів Лежандра визначено реакцію ґрунтової основи на прутки ворсу. На підставі силового аналізу рівнодійної сил опору ґрунту та реакції ґрунтової основи, знайдені графічні залежності рівнодійної від конструктивних та кінематичних параметрів щітки.

Ключові слова: *щітка, прутки ворсу, прогин, деформація, коренева голівка, маточна рослина, валок, ґрунт, основа, реакція, опір*

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні починає відновлюватися садівнича галузь. Але закладання нових високопродуктивних садів не можливе без якісного посадкового матеріалу, основним джерелом якого є саджанці на клонових підщепах. Виробництво даного виду підщеп є мало механізованим із значним застосуванням ручної праці, що призводить до збільшення вартості матеріалу при одночасному зниженню його якості. Одночасно інтенсифікація садівництва, значне зменшення площі живлення рослин обумовили зростання попиту на посадковий матеріал плодових і ягідних культур, на що вітчизняне розсадництво повинно своєчасно реагувати. Одним з шляхів покращення ситуації є механізація трудомістких процесів під час виробництва клонових підщеп.

Аналіз останніх досліджень. Необхідно відзначити, що сучасне виробництво посадкового матеріалу є складна, трудомістка і найменш механізована підгалузь садівництва. Однією з трудомістких

операцій по виробництву клонових підщеп є розкриття маточних рослин та відокремлення відсадків клонових підщеп. На ці операції затрачається біля 50% від загальних затрат на протязі року [1].

В Україні, а також в світовій практиці садівництва розроблені і застосовуються наступні технології розкриття маточних рослин та відокремлення відсадків клонових підщеп.

Механізований спосіб відокремлення відсадків клонових підщеп полягає в застосуванні машин, робочим органом яких являється один або два диски ножового чи пилкового типу. Інститутом садівництва в 1995-1997 рр. було розроблено машину ОП-1 для відокремлення відсадків клонових підщеп. На машині встановлено сегментний диск з приводом та механізм копіювання мікрорельєфу. Під час проходження машини вздовж рядка підрізаний ґрунт валка, за рахунок високої частоти обертання диску, розкидається в міжряддя [2]. Недоліком такого типу зрізу, який називається безпідірним, є пошкодження відсадків маточних рослин за рахунок деформуючої дії на них дискової пилки.

На Кримській дослідній станції розробили відокремлювач відсадків маточних рослин з двома дисковими ножами, які обертаються в протилежних напрямках. Диски мають взаємне перекриття, в зоні якого і відбувається різання. Через відносно невелику частоту обертання дисків ґрунт з валка не виноситься і зріз відбувається на глибині 10-15 см. Такий зріз є підірним. Недоліком цього способу є те, що диски спричиняють вертикальні деформації, вирываючи та виламуючи відсадки з ґрунту [3].

Останнім часом відбулися зміни в структурі виробництва посадкового матеріалу. Основними виробниками стали невеликі господарства з площею маточних насаджень до 5 га і застосування машинного відокремлення відсадків стало недоцільним через механічне травмування маточних рослин (5-10%), особливо в перші роки використання розсадника. Тому в господарствах відокремлення відсадків виконують в ручну. Цей процес поділяється на два етапи: розкриття маточних рослин та власне відокремлення відсадків.

Засоби розкриття маточників поділяються на два типи – пневматичні та механічні. Основними недоліками даних машин є: пневматичних – зменшення ефективності роботи з підвищенням вологості ґрунту та спричинення його ерозії; механічних – потреба в застосуванні ручної праці для остаточного відкриття маточника, що призведе до збільшення затрат праці.

Мета досліджень. Через низький рівень механізації в розсадництві, що становить 12–15%, маємо високу собівартість продукції та низьку її якість [4]. 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 Інституті садівництва розроблено та впроваджено у виробництво спеціальної машини для механізації технологічного процесу відкриття кореневої системи маточних рослин.

Розгортальник РВМ-1 являє собою раму з механізмом начіпки, на якій послідовно встановлені відгортачі у вигляді сферичних дисків та активні щіткові робочі органи з вертикальною віссю обертання, на яких закріплено еластичний ворс. Результати випробувань показали, що дана машина може видаляти близько 90% ґрунту з валка, при цьому пошкоджуючи до 3% рослин. Але застосування машини потребує все ж додаткової ручної праці для доочищення корневих голівок маточних рослин. Тому, потрібно вдосконалити щіткові робочі органи з метою підвищення ступеня видалення ґрунту.

Результати досліджень. Пруток ворса, який має прямокутний поперечний переріз, в процесі його роботи по переміщенню частинок ґрунту можна розглядати як двогранний клин, який формується передньою робочою гранню прутка і нижнім обрізом прутка. Ґрунт, який змітає пруток ворсу, будемо розглядати як суцільне сипке середовище тому, що у валок ґрунт нагортається за три проходи дискового підгортача, при цьому добре розпушуючись, і ущільнюється лише під дією власної ваги.

Однією з основних вимог, що ставляться до операції розкриття кореневої системи є забезпечення змітання ґрунту або субстрату з валка без пропусків. Кратність впливу ворсу щітки на шар впливає на процес змітання частинок з поверхні покривного валка. При збільшенні кратності впливу відбувається більш ретельне змітання ґрунту. На рис. 1 показана схема процесу змітання ґрунту двома гнучкими елементами, що обертаються в одній площині змітання.

Розглядаючи щітки, які мають окремі елементи, необхідно виконання наступної умови: шлях, що проходить елемент при контакті з основою ґрунтового валка $S=AD$ (рис. 1), повинен бути більше відстані, на яку переміститься машина за період часу між контактами сусідніх елементів з ґрунтовою основою.

На першій ділянці АВ елемент входить в контакт з ґрунтовою основою і згинається під дією нормальної реакції N . Ця ділянка визначається кутом зустрічі передньої робочої грані прутка ворсу з поверхнею ґрунтової основи φ_1 , який визначає максимальну деформацію ворсу:

$$\varphi_1 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta l}{R_{щ}}\right), \quad (1)$$

де: Δl – величина прогину прутка ворсу, м; $R_{щ}$ – радіус щітки, м.

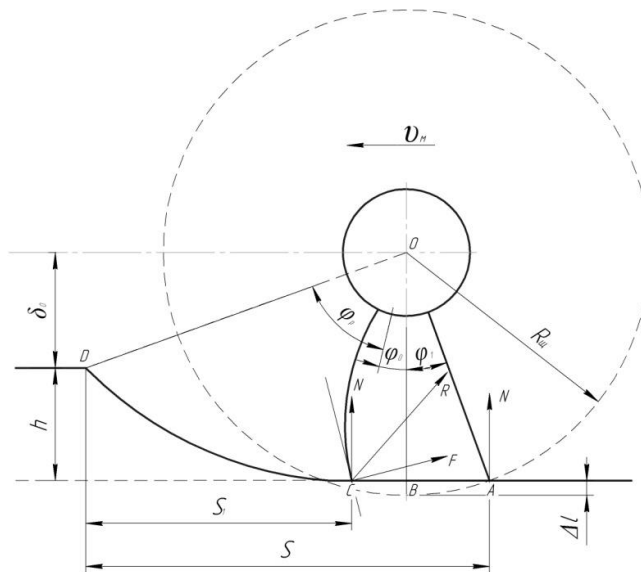


Рис. 1. Схема роботи щітки.

У роботах Гусева Л.М. [5, 6] встановлено, що ворс щітки виконує свої змітають функції в той момент, коли його кінці, дотичні з поверхнею, складають з нею кут $\pi/2$ або близький до нього. В інших випадках ворс ковзає по поверхні і змітання не відбувається, або відбувається дуже неефективно.

Ворс, розташований в області центрального кута φ_1 , значно деформований, і кут його зустрічі з поверхнею більше $\pi/2$, тобто інтенсивного змітання ґрунту не відбувається. У межах робочого кута φ_p кінці ворсу займають близьке до нормального положення по відношенню до основи, і змітання відбувається інтенсивно і повністю [7, 8]. Відповідно, контакт прутка ворсу з ґрунтом буде на деякій ділянці S , але виконання корисної роботи по змітання частинок ґрунту відбуватиметься лише на ділянці S_1 , яка починається після того як щітка повернеться на кут φ_0 , що визначає розвантаження елемента. Розглянемо сили, що діють на пруток ворсу під час його роботи. На ділянці АВ відбувається зростання нормальної реакції N основи ґрунту і збільшення прогину прутка ворсу. Після проходження точки В нормальна реакція зменшується і відбувається розвантаження прутка до тих пір, поки кут між робочою гранню прутка і поверхнею ґрунту не складе 90° в точці С. з цього моменту відбувається виконання корисної роботи по видаленню ґрунту з валка і на пруток ворсу починає діяти сила опору ґрунту F . Процес видалення ґрунту триває до точки D і в цей період на пруток ворсу діють дві сили – нормальна реакція ґрунтової основи N та сила опору ґрунту F . Ці сили можна звести до їх результуючої R . Силу опору ґрунту, яка складається з опору ґрунту деформації, опору на відривання частинок ґрунту та опору на їх відкидання, можна визначити наступним чином [11]:

$$F = \frac{\pi u_a}{z} \left(\frac{2 \sin \alpha}{\omega} (\eta v + ([\tau] - c) a) + \frac{a v h k_{\text{від}}^2 \mu}{\arccos \left(1 - \frac{h}{R_{\text{щ}}} \right)} \right). \quad (2)$$

де: u_a – швидкість руху агрегату, м/с; z – кількість прутків ворсу в одному ряду, шт.; v – абсолютна швидкість кінця прутка ворсу, м/с; ω – кутова швидкість щітки, рад/с; α – кут повороту щітки, рад; η – коефіцієнт в'язкості ґрунту при зсуві (відношення сил внутрішнього тертя до площі шару при градієнті швидкості рівному одиниці), Н·с/м²; $([\tau] - c)$ – нормальний опір ґрунту зсуву, Н/м²; a – ширина шару ґрунту, що відокремлюється і прийнята рівною ширині прутка ворсу, м; h – товщина шару ґрунту, який відокремлюється прутком, м; $k_{\text{від}}$ – відносний коефіцієнт, що враховує рух частинок ґрунту до і після контакту з прутком ворсу; μ – щільність ґрунту, кг/м³; $R_{\text{щ}}$ – радіус щітки, м.

Аналізуючи рівняння (2) можна зробити наступні висновки. При збільшенні ω до 20...25 рад/с зменшується подача ґрунту S , а тому і сила F теж зменшується від 0,48 до 0,24 Н при $z = 70$ шт. Подальше збільшення ω хоча і зменшує подачу, але значно збільшує абсолютну швидкість v кінця прутка ворсу, що збільшує опір ґрунту відкиданню, а також потребує більшого зусилля для подолання в'язкості ґрунту. Тому існує мінімум функції в межах $\omega = 17...25$ рад/с, коли F приймає значення від 0,24 до 0,26 Н.

Силу нормальної реакції ґрунтової основи можна визначити за наступною формулою:

$$N = \frac{3\Delta l E I}{f l^3}, \quad (3)$$

де: Δl – величина прогину ворсу, м; l – початкова довжина прутка ворсу щітки, м; E – модуль пружності (для поліпропілену $E = 3,2 \cdot 10^9$ Па), Па; I – момент інерції прутка ворсу, м⁴; f – коефіцієнт тертя прутків ворсу по ґрунтовій основі ($f = 0,6$).

$$\Delta l = l \left(1 - \left(\left(\frac{2}{\beta} \int_{\psi_0}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - k^2 (\sin(\psi))^2} d\psi - 1 \right) \sin(\xi_0) + \frac{2}{\beta} k \cos(\psi_0) \cos(\xi_0) \right) \right), \quad (4)$$

де: β – силовий коефіцієнт схожості; k , ψ – відповідно модуль і амплітуду еліптичного інтегралу; ξ_0 – кут між напрямком дії сили і віссю недеформованого прутка.

В конструкції розробленої машини РВМ-1 використано щітки радіусом 200 мм з прутками ворсу 140 мм. Довжину прутків ворсу визначено з умови дотримання кута між робочою гранню прутка і поверхнею ґрунту біля 90°.

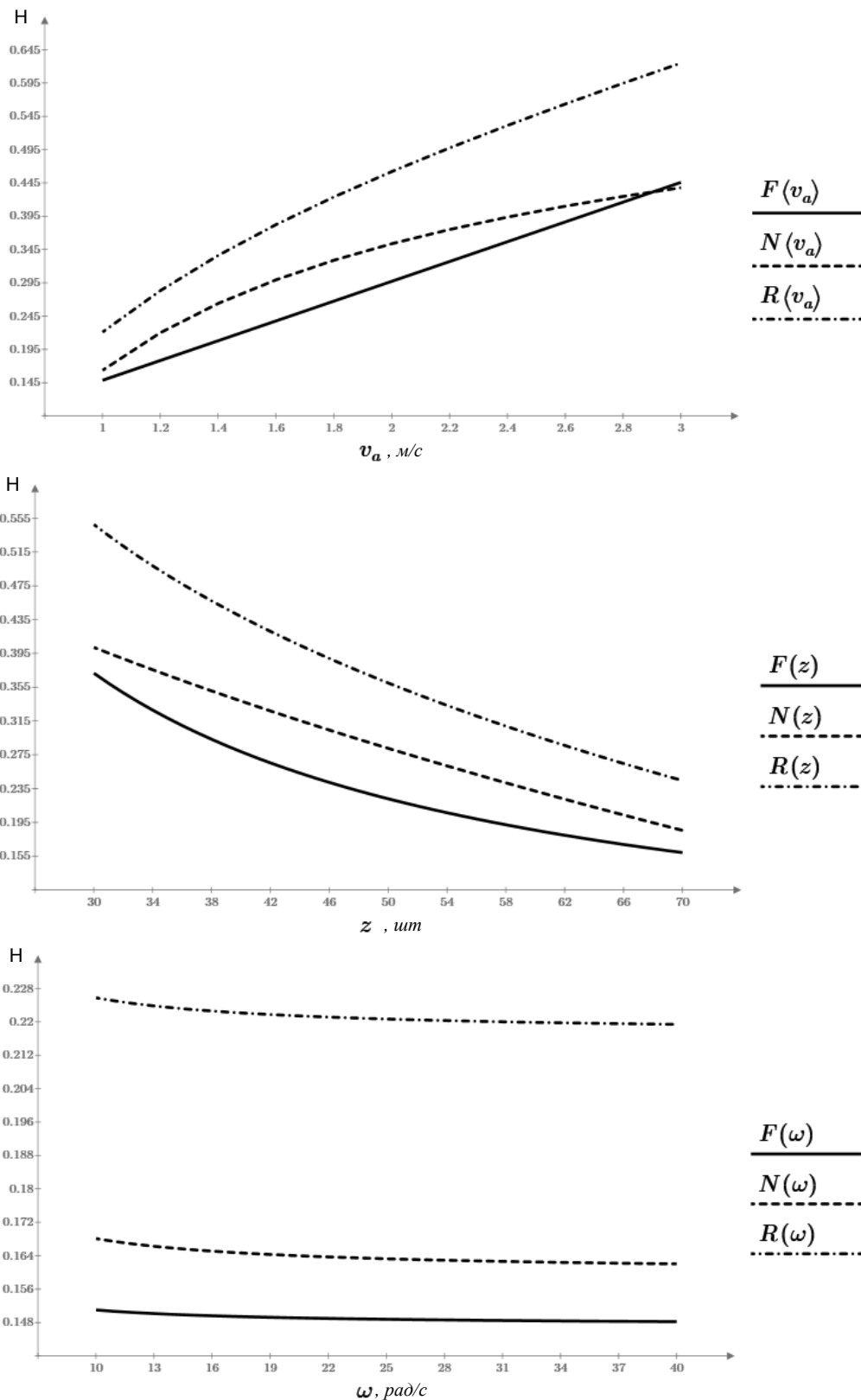


Рис. 2. Залежності сил опору ґрунту, реакції ґрунтової основи та їх результуючої від параметрів щітки.

Для визначення допустимої довжини прутків ворсу було використано метод еліптичних інтегралів Лежандра першого роду

[10, 11] і встановлено, що прутки ворсу з поліпропілену можуть витримати навантаження 0,24-0,6 Н із забезпеченням умови дотримання кута при максимальній довжині 140 мм. За допомогою графічного аналізу було визначено вплив основних кінематичних і конструктивних параметрів щітки на сили опору ґрунту F та реакції ґрунтової основи N , а також їхню результуючу R (рис. 2).

Висновок. Встановлено, що збільшення кількості прутків ворсу зменшує сили опору через зменшення подачі ґрунту на один пруток. Оптимальна кількість прутків ворсу в одному ряді щітки знаходиться в межах 50-70 штук. Аналогічним чином на значення сил впливає і збільшення кутової швидкості щітки. Але необхідно пам'ятати, що значне її збільшення призведе до пошкодження рослин прутками ворсу, тому раціональним є значення кутової швидкості від 25 до 35 рад/с. поступальна швидкість руху зі зростанням призводить до збільшення сил опору, при чому спочатку різко збільшується сила опору ґрунту, а реакція ґрунтової основи зростає в прямій залежності. Тому поступальна швидкість руху агрегату не повинна перевищувати 2 м/с.

Список літератури

1. *Нормативы* затрат на выращивание посадочного материала плодовых и ягодных культур и технологические карты по питомниководству / Гос. агропром. ком. СССР: – Отв. за вып. В.Т. Гонтарь. – К.: 1989. – 94 с.
2. *Каталог* машин и оборудования для механизации работ в плодopитомниках; ВДНХ СССР. – М., 1989. – 101 с.
3. *Довідник* з механізації садівництва / М. О. Бабій, Л. Є. Бабешко, М. О. Демидко та ін. ; За ред. М. О. Демидка. – 2-е видання, перероб. і доп. – К.: Урожай, 1992. – 261 с.
4. *Фришев С. Г.* Порівняльна оцінка технологій розкриття та відокремлення відсаджів клонових підщеп / С. Г. Фришев, І. С. Привалов, А. В. Войтiк // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2005. – №80. – С. 62–66.
5. *Гусев Л. М.* Основы теории и расчета машин для подметания городских дорог : Автореф. дисс... докт. техн. наук / Л. М. Гусев. – М., 1961. – 48 с.
6. *Гусев Л. М.* Расчет и конструирование подметально-уборочных машин / Л. М. Гусев. – М.-Л.: Машгиз, 1963. – 204 с.
7. *Михайлов А. В.* Многофункциональные щеточные торфяные машины / А. В. Михайлов // Записки СПбГГИ. – Вып. 157. – СПб., 2004. – С. 42–45.
8. *Мурашов М. В.* Теория и расчет фрезерующих рабочих органов машин для разработки торфяной залежи : Дисс... докт. техн. наук / М. В. Мурашов. – Калинин, 1964. – 196 с.
9. *Попов Е. П.* Нелинейные задачи статики тонких стержней / Е. П. Попов. – Л.-М.: Гостехиздат. 1948. – 170 с.
10. *Попов Е. П.* Теория и расчёт гибких и упругих стержней / Е. П. Попов. – М.: Наука, 1986. – 264 с.
11. *Войтiк А. В.* Дослідження форми щіткового робочого органу для розкриття кореневої системи маточних рослин / А. В. Войтiк, М. Г. Гнатюк // Вісник українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Мелітополь: Олді-Плюс, 2015. – С. 190–197.

Аннотация. В статье рассмотрены технологии и технические средства для раскрытия корневой системы маточных растений клоновых подвоев. Установлено, что рациональным вариантом является использование комбинированного устройства с пассивными разокучивателями и активными цилиндрическими щетками с вертикальными осями вращения и гибкими рабочими элементами. Проанализирован рабочий процесс одного прутка ворса щетки и определены силы, которые на него действуют. Найдено условие, при котором сметающий элемент щетки будет удалять частицы почвы или субстрата из валка. С использованием эллиптических интегралов Лежандра определена реакция грунтового основания на прутки ворса. На основании силового анализа равнодействующей сил сопротивления почвы и реакции почвенной основы, найдены графические зависимости равнодействующей от конструктивных и кинематических параметров щетки.

Ключевые слова: щетка, прутки ворса, прогиб, деформация, корневая головка, маточное растение, валок, почва, основа, реакция, сопротивление

Annotation. The paper considers technologies and technical means for the disclosure of the root system of the mother plant clonal rootstocks. Found that the rational option is the use of the combined device with passive disks and active cylindrical brushes with vertical axes of rotation and flexible working elements. Analyzed the workflow of one rod lint brush and determined forces that are not. Found the condition under which the element sweeping brush will remove the particles of soil or substrate from the roll. Using elliptic integrals, Legendre determined the reaction of the subgrade on the rod of the pile. On the basis of the power analysis of the resultant resistance force of soil reaction and soil bases, found graphic dependences of the resultant of the constructive and kinematic parameters of the brush.

Key words: brush, rod pile, deflection, deformation, root head, mother plants, swath, soil, foundation, reaction resistance