

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ РОТОРНОГО РЫХЛИТЕЛЯ ВЫКОПОЧНОГО ПЛУГА

Земляной А.А.¹, Дробышев И.А.², Мишин Б.С.²

¹ кандидат технических наук, научный сотрудник ФГБНУ ФНЦ
им. И.В. Мичурина, 393760, ул. Мичурина д. 30, г. Мичуринск, РФ;

² кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ,
393760, ул. Интернациональная д. 101, г. Мичуринск, РФ

e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru

TO DETERMINE THE PARAMETERS OF THE ROTARY RIPPER OF THE DIGGING PLOW

Zemlyanoy A.A.¹, Drobyshev I.A.², Mishin B.S.²

¹ Candidate of Technical Sciences, Researcher at I.V. Michurin Federal State Budgetary
Research University, 30 Michurina str., Michurinsk, 393760, Russian Federation;

² Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Michurinsky State University,
393760, Internatsionalnaya str., 101, Michurinsk, Russian Federation

e-mail: 1zemlyanoy1@mail.ru

Аннотация: Перевод садоводства на интенсивную и суперинтенсивную технологию с целью увеличения производства плодовой продукции потребовал увеличения объема производства высококачественного посадочного материала.

Одним из основных вопросов в производстве посадочного материала и в плане технологии выращивания и потребления энергетических ресурсов является процесс выкопки саженцев, поэтому вопрос исследования и разработки выкопочных орудий, в том числе и с использованием последних достижений в отрасли информационных технологий, является актуальным и на сегодняшний день [5].

В результате проведенных исследований выдвинута гипотеза, заключающаяся в предположении, что комбинированный рабочий орган, содержащий ассиметричную выкопочную скобу и установленный перед ней роторный рыхлитель, обеспечит сокращение тягового сопротивления при выкопке саженцев. В статье определены основные параметры роторного рыхлителя выкопочного плуга.

Ключевые слова: саженцы, выкопочный плуг, комбинированный рабочий орган, роторный рыхлитель, тяговое сопротивление, мощность привода.

Abstract: The transfer of horticulture to intensive and super-intensive technology in order to increase the production of fruit products required an increase in the production of high-quality planting material.

One of the main issues in the production of planting material and in terms of technology for growing and consuming energy resources is the process of digging seedlings, therefore, the issue of research and development of digging tools, including using the latest achievements in the information technology industry, is relevant today.

Because of the conducted research, a hypothesis has been put forward, which consists in the assumption that a combined working body containing an asymmetric digging bracket and a rotary ripper installed in front of it will ensure a reduction in traction resistance when digging seedlings. The article defines the main parameters of the rotary ripper of the digging plow.

Key words: seedlings, digging plow, combined working body, rotary ripper, traction resistance, drive power

ВВЕДЕНИЕ

Выкапывание саженцев — один из наиболее энергоемких и трудоемких процессов в питомниководстве. Основными требованиями при его исполнении являются уменьшение тягового сопротивления выкопочного плуга в ходе работы и эффективное рыхление подкопанного слоя почвы с саженцами для уменьшения затрат физических усилий по их выборке и отделению почвы от корневой системы [4].

Процесс выкапывания включает в себя следующие операции: подкапывание с одновременным рыхлением пласта; извлечение посадочного материала из почвы; сборка, группирование в пучки и погрузка в транспортные средства для подвозки к месту посадки или хранения.

Выкапывают организованно и в короткие сроки. Срезы корней должны быть гладкими, длина корней не менее 25 см. Не допускается размочаленность, задиры и расщепление корней, а также отломы веток, обдиры коры штамбов и кроны [1].

Для снижения тягового сопротивления в процессе выкопки саженцев необходимо предварительно взрыхлить почву в прикорневой зоне [6]. Наша задача разработать выкопочный плуг для саженцев плодовых культур способный выполнять качественную технологическую операцию в тандеме с тракторами тягового класса 9–1,4 кН, что в наших условиях недостижимо со стандартной компоновкой выкопочного орудия, включающую в себя навесное устройство с рамой, на которой

консольно справа установлен боковой нож, а слева противорез или нож устойчивости. Данная компоновка увеличивает тяговое сопротивление, стоит рассмотреть комбинированный рабочий орган выкопчного плуга, который включает в себя роторный рыхлитель, установленный перед ассиметричной выкопчной скобой [8, 9].

МЕСТО, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Место — ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина

Объект исследования — роторный рыхлитель выкопчного плуга

Методика — теоретические исследования

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Роторные рыхлители, предназначенные для образования взрыхлённой борозды, сводятся к четырём схемам представленные в таблице 1:

1. Рыхлители, содержащие параллельные направлению движения роторы с горизонтальной осью вращения, нарезают вертикальные щели, заполненные взрыхлённой почвой. Глубина и ширина каждой щели определяются конструкцией ротора и зависят от его размеров, в частности, диаметра и толщины.

2. Рыхлители, содержащие роторы с наклоном в вертикальной плоскости, нарезают щели под углом β к вертикали. Из-за этого при одинаковой глубине борозды по высоте заглубление ротора в почву несколько больше, чем при вертикальном его положении.

3. Рыхлители, содержащие роторы, установленные под углом α к направлению движения, нарезают борозды эллипсовидной формы. Размеры борозды зависят от диаметра, угла установки и заглубления ротора в почву. Профиль борозды в поперечном сечении симметричен относительно большой оси эллипса.

4. Рыхлители, содержащие роторы, установленные под углом α к направлению движения и отклонены на угол β в вертикальной плоскости, формируют борозды эллипсовидной формы, с несимметричным профилем. Снизу профиль ограничен линией наклонённого под углом β большой оси эллипса, а сверху — уровнем почвы. Из-за наклона ротора поперёк борозды заглубление его в почву больше, чем у ротора, установленного только под углом α к направлению движения.

Для определения параметров роторного рыхлителя, комбинированного выкопчного плуга необходимо определить параметры взрыхлённой борозды

Глубина и ширина щели, сформированная ротором с горизонтальной осью вращения, расположенной перпендикулярно направлению движения, полностью определяются конструкцией ротора и зависят от его размеров.

Аналогичные щели нарезают рыхлители, содержащие роторы с наклоном в вертикальной плоскости. Отличие состоит в том, что щель формируется под углом β к вертикали.

Рыхлитель, у которого рабочий орган с горизонтальной осью вращения установлен под углом α к направлению движения, в работе вырезает сегмент почвы шириной определяемой заглублением рабочего органа. Линия контура наружных точек такого рыхлителя в проекции на плоскость перпендикулярную направлению движения представляет собой эллипс (рис. 1). Теоретически площадь поперечного сечения взрыхлённой борозды ограничена снизу линией эллипса, а сверху — линией уровня почвы.

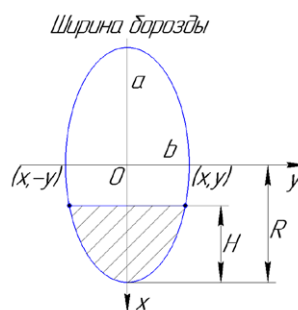


Рисунок 1. Схема к определению параметров борозды

Каноническое уравнение эллипса [11] в координатах x, y :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (a > b), \quad (1)$$

или

$$y = \frac{a}{b} \sqrt{a^2 - x^2}, \quad (2)$$

где: a — большая полуось эллипса, м; b — малая полуось эллипса, м.

При $a = R$, $b = R \sin \alpha$, $x = (R - H)$

$$y = \sin \alpha \sqrt{R^2 - (R - H)^2}, \quad (4)$$

где: R — радиус ротора рыхлителя, м; H — глубина борозды, м; α — угол постановки ротора рыхлителя к направлению движения, градус.

Учитывая, что ширина борозды в верхней части $B = 2y$, то

$$B = 2 \sin \alpha \sqrt{R^2 - (R - H)^2}, \quad (5)$$

где: B — расчётная ширина борозды, м.

Площадь поперечного сечения взрыхлённой борозды сводится к вычислению площади сектор заштрихованного на рисунке 73 [7].

$$S = \frac{b}{a} \left[-x \sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \arccos \frac{x}{a} \right], \quad (6)$$

где: S — площадь сегмента, м²; a — большая полуось эллипса, м; b — малая полуось эллипса, м; x — ордината линии, ограничивающей сектор, м; $\pi = 3,14$ — постоянная.

Известна и другая формула для определения площади сегмента, ограниченного выпуклостью вдоль большой оси и линией параллельной малой оси эллипса [11]

$$S = \frac{\pi ab}{2} - \frac{b}{a} \left[x \sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \arccos \frac{x}{a} \right], \quad (7)$$

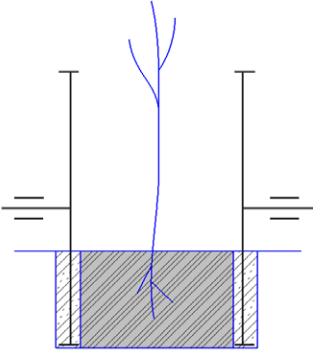
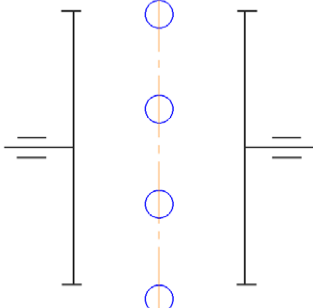
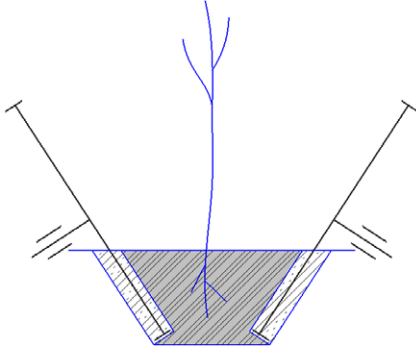
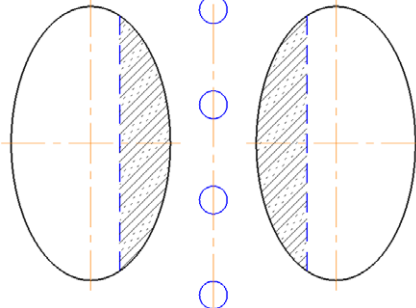
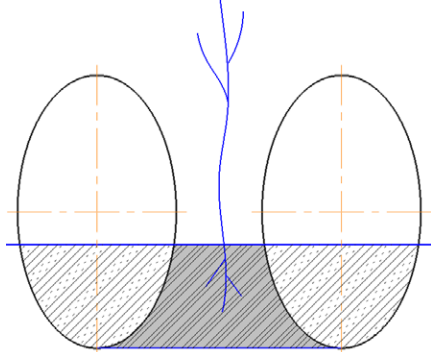
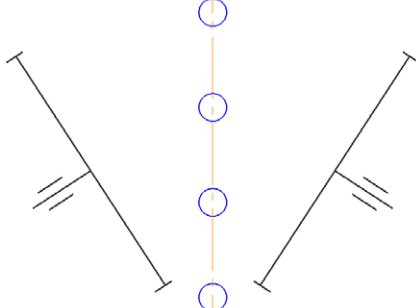
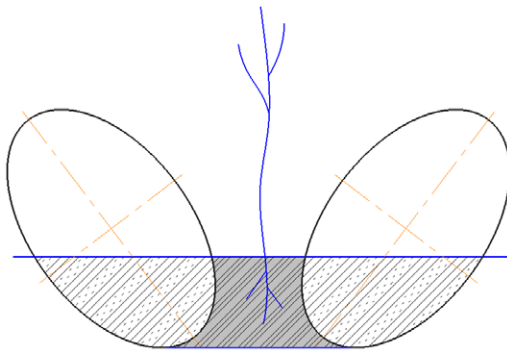
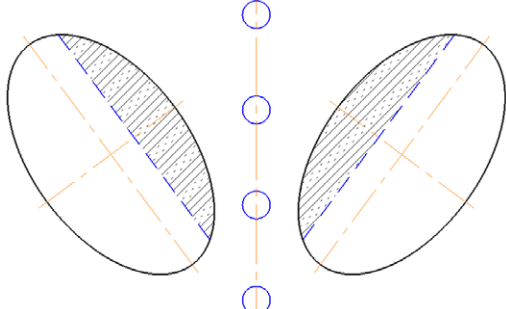
где: $\pi = 3,14$ — постоянная.

Площадь поперечного сечения взрыхлённой борозды ротором, установленным под углом α к направлению движения и отклонённым на угол β в вертикальной плоскости, вычисляется по тем же формулам с учётом увеличения заглубления ротора из-за его наклона в вертикальной плоскости.

Пример расчёта. При $R = 0,5$ м; $H = 0,3$ м; $\alpha = 30$ градусов ($\sin \alpha = 0,5$) ширина борозды $B = 0,46$ м и площадь поперечного сечения $S = 0,10$ м². При $\alpha = 15$ градусов ($\sin \alpha = 0,2588$) ширина борозды $B = 0,24$ м, а площадь — $S = 0,05$ м².

Определение затрат энергии неоднократно проводили в своих исследованиях [2, 3, 10, 12], направленных на разработку рабочих органов для окуливания побегов вегетативно размножаемых подвоев, раскрытия укрывных валов перед отделением отводков, нарезания

Таблица 1 — Схемы компоновки роторных рыхлителей

1. Параллельные роторы с горизонтальной осью вращения.	
Вид сбоку	Вид сверху
	
2. Роторы установлены с наклоном в вертикальной плоскости	
Вид сбоку	Вид сверху
	
3. Роторы установлены под углом к направлению движения	
Вид сбоку	Вид сверху
	
4. Роторы установлены под углом к направлению движения и наклонены в вертикальной плоскости	
Вид сбоку	Вид сверху
	

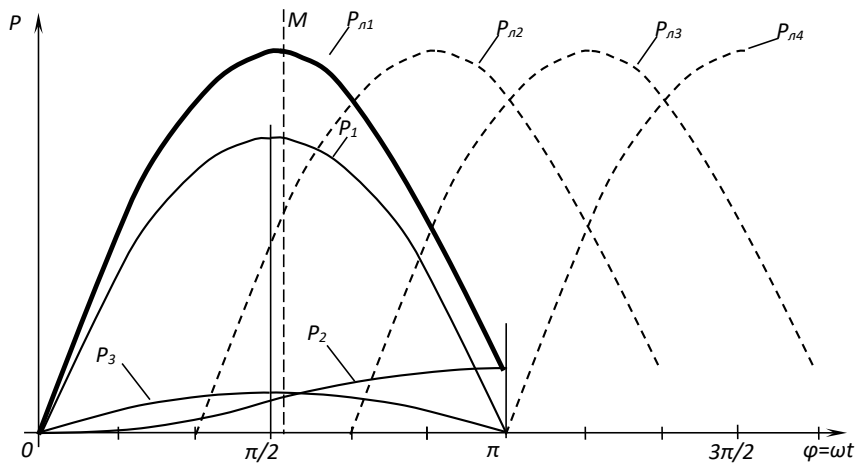


Рисунок 2. Нагрузка на нож рыхлителя в зависимости от угла поворота ротора

посадочных борозд. Поэтому ранее апробированную методику считаем возможным использовать для определения необходимой мощности на привод исследуемого рыхлителя.

В работе нож рыхлителя испытывает следующие нагрузки [2, 10]:

$$P_n = P_1 + P_2 + P_3, \quad (8)$$

где P_n — общая нагрузка на нож, Н; P_1 — нагрузка от резания почвы, Н; P_2 — нагрузка от трения почвы по дну борозды, Н; P_3 — нагрузка при отбрасывании почвы, Н.

$$P_1 = (2\pi\vartheta_m H_{cp} k \sin \omega t) / (\omega z), \quad (9)$$

где ω — частота вращения ротора, с^{-1} ; ϑ_m — поступательная скорость машины, м/с ; H_{cp} — средняя высота срезаемой стружки, м ; t — время поворота ротора от начала отсчета, с ; k — общий коэффициент сопротивления почвы резанию, Н/м^2 , [$k = 1,9 \div 2,0 \text{ Н/см}^2$ [2]]; z — количество ножей на роторе, шт.

$$P_2 = 2\pi\vartheta_m H_{cp} \gamma g f R (1 - \cos \omega t) / \omega z, \quad (10)$$

где R — радиус по концам ножей рыхлителя, м ; g — ускорение свободного падения, м/с^2 ; f — коэффициент трения почвы о дно борозды [$f \approx 0,6$ [2]]; γ — объемная масса почвы, кг/м^3 [$\gamma = 0,8 \text{ т/м}^3$ [86]].

Для определения P_3 необходимо [2] вычислить секундную работу A_0 или мощность на отбрасывание N_0 : $A_0 = N_0 = m' \vartheta_0^2 / 2$, где: m' — секундная подача массы почвы на нож, кг/с [$m' = c' H_{cp} \vartheta_{\pi}$]; ϑ_0 — скорость отбрасывания почвы, м/с ; ϑ_{π} — скорость поступления почвы на нож, м/с . Затем вычислить сопротивление отбрасыванию $P_3 = N_0 / \vartheta_{\pi} = c' H_{cp} \gamma \vartheta_0^2 / 2$. Приняв $\vartheta_{\pi} = \vartheta_0 = \omega R$ [10], получим:

$$P_3 = \pi \vartheta_m H_{cp} \gamma (\omega R)^2 \sin \omega t / \omega z, \quad (11)$$

Общая нагрузка на нож, после сложения [9], [10], [11] и некоторых преобразований:

$$S = \frac{2\pi\vartheta_m H_{cp}}{\omega z} \left\{ [k + \gamma (\omega R)^2 / 2] \sin \omega t + \gamma g f R (1 - \cos \omega t) \right\}, \quad (12)$$

На рисунке 2 представлены общая нагрузка на один нож ротора и её составляющих в зависимости от угла поворота ротора при нарезании борозды. Там же пунктиром показаны нагрузки на следующие за ним второй, третий и четвёртый ножи.

Производная $dP_n / d\varphi = 0$ определяет максимум функции [12] (точка M на кривой $P_n = f(\omega t)$ рисунка 2):

$$\frac{2\pi\vartheta_m H_{cp}}{\omega z} \left\{ [k + \gamma (\omega R)^2 / 2] \cos \omega t + \gamma g f R \sin \omega t \right\} = 0. \quad (13)$$

В уравнении [13] только выражение в фигурных скобках может быть равно нулю, то есть $[k + \gamma (\omega R)^2 / 2] \cos \omega t + \gamma g f R$ или $\tan \omega t = -[k + \gamma (\omega R)^2 / 2] / (\gamma g f R)$, откуда:

$$(\omega t)_{\max} = \arctg [-[k + \gamma (\omega R)^2 / 2] / (\gamma g f R)], \quad (14)$$

где $(\omega t)_{\max}$ — угол поворота ротора, соответствующий $P_n^{\max}$.

Чтобы вычислить момент и мощность привода ротора, надо учесть нагрузки на все задействованные ножи:

$$M_p = P_p R, \quad (15)$$

где M_p — момент привода ротора, Нм ; P_p — суммарная нагрузка на все лопасти, Н; R — радиус ротора, м .

$$N_p = M_p \omega, \quad (16)$$

где N_p — мощность привода одного ротора, кВт .

Выводы

Расчёты показывают, что нагрузка на нож ротора составляет 230–250 Н. Причём суммарная мощность на привод одного ротора достигает 8,0 кВт. Это затраты мощности на выкопку саженцев, которые передаются на рабочий орган от ВОМ трактора. То есть, за счёт этого уменьшается тяговое сопротивление выкопчного плуга, машина идёт ровнее, исключаются уводы рабочего органа с линии ряда. Результатом всего этого является повышение качества выкопки саженцев на тяжёлых и средних почвах.

Основная гипотеза, заключающаяся в предположении, что комбинированный рабочий орган, содержащий ассиметричную выкопчную скобу и установленный перед ней роторный рыхлитель, обеспечит сокращение тягового сопротивления при выкопке саженцев, находит теоретическое подтверждение. Все параметры роторного рыхлителя поддаются расчёту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аниферов Ф.Е. Машины для садоводства / Ф.Е. Аниферов, Л.И. Ерошенко, И.З. Теплинский. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Агропромиздат. 1990. — 304 с.
- Босой Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов с.-х. машиностроения /

- Е.С. Босой [и др.]. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1977. — 568 с.
3. *Бросалин В.Г.* Машина для весеннего раскрытия маточных растений / Завражных А.И., Ланцев В.Ю., Манаенков К.А., Бросалин В.Г., Завражных А.А. // Техника в сельском хозяйстве — №6 — 2014 — С.2–5.
 4. *Главацкий С.Г.* Обоснование параметров комбинированного орудия для вибрационной подрезки и выкопки сеянцев в лесных питомниках: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н. / Сибирский государственный технологический университет. — Красноярск, 2004. — 24 с.
 5. *Дробышев И.А.* Концепция развития машин для подкапывания саженцев плодовых культур / И.А. Дробышев, О.А. Микляева // Наука и Образование. — 2020. — Т. 3, №4. — С. 38–45. — EDN CERUTF.
 6. *Клиновой С.И.* Обоснование технологического процесса выкопки саженцев и параметров вибрационного копателя: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н. / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. селекц. технол. инт садоводства и питомниководства. — М., 1993. — 25 с.
 7. *Марон И.А.* Дифференциальное и интегральное исчисление в примерах и задачах / И.А. Марон — М., 1973. — 400 с.
 8. *Полезная модель RU 198468 A01D 13/00.* Машина для выкопки саженцев / Бросалин В.Г., Завражных А.А., Земляной А.А. и др. Заявка: 2020112601 от 25.03.2020. Опубликовано: 13.07.2020 Бюл. №20.
 9. *Полезная модель RU 214358 A01D 31/00.* Машина для выкопки саженцев / Бросалин В.Г., Завражных А.А., Земляной А.А. Заявка: 2022110825 от 20.04.2022. Опубликовано: 25.10.2022 Бюл. №30.
 10. *Турбин В.Г.* Сельскохозяйственные машины: Теория и технологический расчет / В.Г. Турбин [и др.]. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, 1967. — 584 с.
 11. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. Том II. М., Физмат. 1959.- 808 с.
 12. *Шкиолу Э.В.* Механизация выкопки плодовых саженцев из питомника Текст. / Э.В. Шкиолу // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии, 1980, — №12, С. 31–33.