

А.С. Рзалиев¹, А.У. Серикбаев², Б. Жунусбаев^{1}, А.Б. Жунусбаев¹,
Р.Б. Жунусов¹, Б.К. Сатыбай¹*

¹ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», г. Алматы, Казахстан
rzaliyev24@bk.ru, bekmt.zhinusbaev@yandex.ru*, almazz70@mail.ru,
Zhunusov.rustem@internet.ru, batyrkhan.satybay@mail.ru

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы
abdukarim.serikbayev@kaznaru.edu.kz

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЫ С ВЕРТИКАЛЬНО-РОТОРНЫМ ВАЛОМ ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНОЙ ЗОНЫ ПЛОДОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Аннотация

Важнейшей операцией в технологии работ по уходу за плодовыми насаждениями является обработка почвы в приствольной зоне, целью которой является уничтожение сорняков и рыхление верхнего слоя почвы на глубину от 3 до 10 см, накопления влаги, способствует достаточной водопроницаемости, аэрации и прогреву корнеобитаемых почвенных горизонтов.

Традиционные сельскохозяйственные орудия (дисковая борона, культиваторы с горизонтальной осью вращения) не полностью уничтожают сорняки, забиваются растительными остатками, повреждают корневую систему растений, что способствует развитию водной и ветровой эрозии летом и подмерзанию корней зимой.

В последние годы все большее внимание уделяется машинам с вертикально-ротационным валом вращения для обработки почвы, которым в меньшей степени свойственны выше перечисленные недостатки.

Цель работы – разработать фрезу с вертикально-роторным валом вращения, обеспечивающую в процессе обработки приствольной зоны «огибание» рабочим органом штамба плодового дерева, исключив при этом вероятность взаимного повреждения орудия и объекта обработки.

Важной проблемой для предпринимателей и фермеров, занимающихся производством плодовой продукции является отсутствие современных машин для механической обработки междурядий и приствольной зоны. Отсутствие отечественного производства технических средств для обработки почвы в приствольной зоне плодовых культур определяет актуальность и новизну проводимых исследований.

Предложена оригинальная конструктивно-технологическая схема работы фрезы с вертикально-ротационным валом вращения, технический результат - повышение степени крошивости почвы после обработки приствольной зоны.

Приведены теоретическое обоснование параметров работы фрезы для обработки почвы в приствольной зоне. В результате исследований получены аналитические зависимости, позволяющие определить влияние основных конструктивных параметров, а также режимы работы предлагаемой конструкции фрезы на качество выполнения технологического процесса.

На основе теоретических исследований по определению оптимальных конструктивно-режимных параметров фрезы и по результатам экспериментальных исследований будет изготовлен на заводах НПЦАИ экспериментальный образец фрезы с вертикально-ротационным валом вращения для обработки приствольной зоны плодовых деревьев.

Ключевые слова: плодовые деревья, штамб, приствольная зона, обработка почвы, вертикальная фреза, крошение.

Введение

В настоящее время в плодоводстве наблюдается тенденция перехода от экстенсивных сильнорослых насаждений к интенсивным насаждениям на слаборослых клоновых подвоях. Они раньше вступают в плодоношение, имеют малогабаритную удобную для ухода и сбора урожая крону, формируют высококачественные плоды. В зарубежной практике садоводство полностью переведено на слаборослые насаждения, а нашей стране начинает только развиваться. Одной из причин создавшегося положения является отсутствие современных средств механизации для выполнения технологических операций в слаборослых садах, в том числе при уходе за почвой.

Использование разработанных ранее орудий является малоэффективным. Узкие междуурядья, небольшое расстояние между деревьями в ряду, малая величина для свободного прохода машинно-тракторных агрегатов создают дополнительные сложности, особенно при обработке пристволовых полос. Засоренность пристволовых полос снижает урожайность и приводит к потерям во время уборки. Поэтому обоснование механизированных технологий средств механизации для обработки почвы в пристволовой зоне в интенсивных слаборослых садах является актуальной проблемой.

Требования, предъявляемые к средствам механизации - большая маневренность и проходимость, выполнение одновременно нескольких технологических операций, высокая степень измельчения почвы, крошимости, малый вес и высокие эксплуатационные показатели. Они должны гарантированно соблюдать агротехнические требования, повышать эрозионную устойчивость и плодородие почвы, производительность труда и снижать себестоимость плодовой продукции.

В настоящее время ведётся активный поиск новых подходов к внедрению технологических решений и разработке новых конструкций машин для обработки почвы пристволовой зоны плодовых деревьев, которые должны обеспечить увеличение производительности, снижение трудовых и энергетических затрат.

Целью статьи является обоснование параметров фрезы с вертикально-роторным валом вращения, обеспечивающей в процессе обработки – высокую степень крошимости почвы.

В соответствии с целью поставлены задачи исследования: провести анализ технических устройств, применяемых для обработки почвы в пристволовой зоне плодовых деревьев, теоретически обосновать параметры предлагаемой конструкции устройства и определить закономерности процессов взаимодействия ножа фрезы с обрабатываемой почвой.

Разработанная в ТОО «НПЦ агротехники» устройство для обработки почвы пристволовой зоны плодовых деревьев, состоит из ротационной фрезы с вертикальным приводом вала вращения, которая равномерно обрабатывает почву на заданную глубину, что повышает степень крошимости почвы. Применение электронного индуктивного датчика и металлического щупа в комплекте с другими механизмами фрезы, позволяют в процессе обработки пристволовой зоны «огибать» рабочим органом штамб плодового дерева, исключив при этом вероятность взаимного повреждения орудия и объекта обработки.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена применительно к возделыванию плодовых культур.

Методы исследования – информационный поиск по устройствам для обработки пристволовой зоны, теоретические исследования проводились с использованием известных законов математического анализа и теоретической механики.

Результаты и обсуждение

Анализ технических устройств, применяемых для обработки почвы в пристволовой зоне плодовых деревьев. При традиционной или минимальной обработке почвы лучшее крошение и большее поступление растительных остатков в обрабатываемый слой способствует некоторому уменьшению плотности почвы. Из-за дефицита количества осадков в летний период наблюдалось уменьшение запасов продуктивной влаги в почве к началу уборки урожая при традиционной обработке 15,9-34,5 мм, при минимальной обработке 20,7-36,7 мм, при нулевой обработке 29,8-54,8 мм [1].

В ходе исследования установлено, что применение нулевой технологии обработки почвы (ресурсосберегающее земледелие), помогает удерживать влагу в почве, и способствовала формированию отличного агрегатного состояния пахотного слоя почвы [2].

Садоводство издавна является наиболее приоритетной отраслью агропромышленного комплекса юга Казахстана, располагающей благоприятными почвенно-климатическими условиями, трудовыми ресурсами, а также необходимым опытом для производства конкурентоспособной продукции.

Важнейшей операцией в технологии работ по уходу за плодовыми насаждениями является обработка почвы в приствольной зоне, целью которой является уничтожение сорняков и рыхление верхнего слоя почвы на глубину от 3 до 10 см, накопления влаги, способствует достаточной водопроницаемости, аэрации и прогреву корнеобитаемых почвенных горизонтов.

Традиционные сельскохозяйственные орудия (дисковая борона, культиваторы с горизонтальной осью вращения) не полностью уничтожают сорняки, забиваются растительными остатками, повреждают корневую систему растений, что способствует развитию водной и ветровой эрозии летом и подмерзанию корней зимой.

Следует отметить, что структура почвы, получаемая при обработке данными рабочими органами, требует дополнительных операций по заравниванию образованных неровностей. Так же почти все почвообрабатывающие машины пассивного действия имеют общий недостаток - они работают в тяговом режиме, следовательно, создают значительное тяговое сопротивление. Избежать данных недостатков позволит применение почвообрабатывающих машин с активными ротационными рабочими органами [3].

Избежать данных недостатков позволит применение почвообрабатывающих машин с активными ротационными рабочими органами.

В настоящее время в плодоводстве наблюдается тенденция перехода от экстенсивных сильнорослых насаждений к интенсивным насаждениям на слаборослых клоночных подвоях. Они раньше вступают в плодоношение, имеют малогабаритную удобную для ухода и сбора урожая крону, формируют высококачественные плоды и в 1,5-2 раза повышают эффективность производства.

Использование разработанных ранее орудий является малоэффективным. Узкие междурядья, небольшое расстояние между деревьями в ряду, малая величина для свободного прохода машинно-тракторных агрегатов создают дополнительные сложности, особенно при обработке приствольных полос. Засоренность приствольных полос снижает урожайность на 20-25% (по отдельным сортам - до 50%) и приводит к потерям во время уборки. Поэтому обоснование ресурсосберегающих механизированных технологий содержания почвы в интенсивных слаборослых садах является актуальной проблемой [4].

Анализ существующих технических средств показал, что наиболее перспективным и агротехнически целесообразным технологическим процессом в садах является обработка почвы междурядий с одновременным поверхностным рыхлением ротационными рабочими органами [5].

В нашей стране используются импортные машины для обработки приствольной зоны плодовых деревьев. Основным недостатком этих машин являются неудовлетворительная работа на неровных рельефах, высокая стоимость, дорогостоящее обслуживание и главное, что они неадаптированы условиям Казахстана.

В настоящее время отсутствуют отечественные машины, которые бы соответствовали основным условиям технологического процесса и обеспечивали качество обработки почвы приствольной зоны плодовых культур. Импортные машины, предназначенные для обработки почвы приствольной зоны плодовых деревьев, должны быть адаптированы к природно-климатическим условиям Юго-Востока Казахстана, а также иметь рациональные параметры рабочих органов. Анализ имеющихся теорий и результатов, выполненных ранее исследований, показали существенные различия в обосновании параметров и режимов работы ротационного режущего аппарата [6].

Разработанная в Научно-производственном центре агронженерии (НПЦАИ) оригинальная конструкция вертикальной роторной фрезы, для обработки почвы пристволовой зоны плодовых деревьев в интенсивных садах, представлена на рисунке 1.

Устройство для обработки почвы пристволовой полосы плодовых деревьев состоит из телескопической рамы 1, выполненной из профильных труб, индуктивного датчика 2, металлического щупа 3, монтажной плиты 4, аксиально-поршневого насоса 5, гидроцилиндра 6, электрогидрораспределителя 7, кулачкового механизма 8; корпуса приводного вала 9, промежуточной тяги 10, ножей фрезы 11.

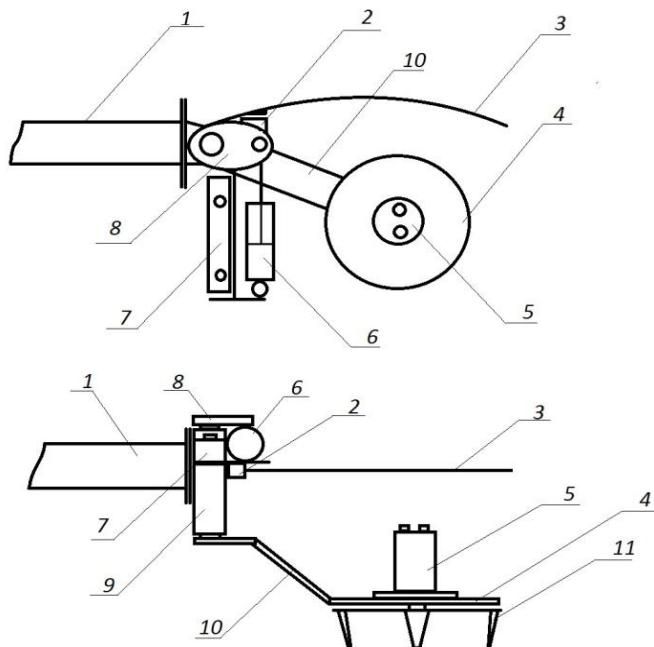


Рисунок 1 – Конструктивно – технологическая схема предлагаемой фрезы с вертикально – роторным валом вращения для обработки пристволовой зоны плодовых деревьев

Прицип работы фрезы. В процессе обработки пристволовой зоны при контакте щупа фрезы с препятствием срабатывает индукционный датчик 2, который подает сигнал на электрогидрораспределитель 7, оттуда подается команда гидроцилинду 6 двухстороннего действия и масло поступает в распределительный канал для отвода фрезы. По прохождению препятствия (штамба) и отступе щупа на исходную позицию происходит разрыв цепи в индукционном датчике и система возвращает фрезу для дальнейшей обработки пристволовой зоны до следующего срабатывания индуктивного датчика 2. Данный процесс при обработке почвы пристволовой зоны плодовых деревьев цикличен. Такое конструктивное выполнение позволит повысить надежность технологического процесса, исключает травмирование плодовых деревьев при обработке пристволовой зоны плодовых культур и повышает степень крошимости почвы [7].

Привод рабочих органов фрезы осуществляется от аксиально-поршневого насос 5, смонтированного на площадке 4. Толщину среза пласти почвы (стружки) можно регулировать скоростью движения агрегата варьируют от 0,018м (0,30 м/с) до 0,092м (1,38 м/с) и при разной частоте вращения ротора от $5,0\text{с}^{-1}$ до $18,33\text{с}^{-1}$. Предварительные исследования фрезы с вертикально – роторным валом вращения при обработке почвы пристволовой зоны плодовых деревьев дали положительные результаты.

Обработанная фрезой почва пристволовой зоны плодовых культур должна быть равномерно разрыхленной и иметь низкую комковатость, что будет способствует сохранению влаги, снижению уплотнения почвы и повышения крошимости почвы в плодовых садах. Фрезу

можно агрегатировать минитракторами и даже мотоблоками, что приведет к снижению плотности почвы.

Определение траектории движения ножей фрезы. В процессе работы ножи фрезы с вертикально – роторным валом вращения для обработки приствольной зоны совершают сложное движение, т.е. одновременно вращательное и поступательное движения. Траектория движения каждой точки ножа фрезы зависит от окружной и поступательной скоростей. У фрезы с вертикальной осью вращения траектория движения ножей представляют собой несколько вытянутую циклоиду (трахоиду). Траекторией движения четырех последовательно работающих ножей и направлением вращения фрезы определяются размеры и форма срезаемой почвенной стружки.

Для определения основных параметров траектории составляем уравнение циклоиды.

В процессе прямолинейного движения вращения фрезы с угловой скоростью ω_ϕ точки ножа описывают траекторию в виде циклоиды. Поэтому, точки совершают движение в соответствии с уравнением [8].

$$\begin{cases} X = t V_\pi + r_h \cos(\omega_\phi t), \\ Y = r_h [1 - \sin(\omega_\phi t)], \end{cases} \quad t \in [0, 2\pi], \quad (1)$$

где t – время, с; r_h – радиус вращения ножа фрезы, м; V_π – поступательная скорость агрегата.

Из выражения (1) получим

$$\frac{r_h - Y}{r_h} = \sin(\omega_\phi t), \text{ отсюда}$$

$$t = \frac{1}{\omega_\phi} \arcsin \left(\frac{r_h - Y}{r_h} \right). \quad (2)$$

Из уравнения (1), учитывая (2), имеем

$$\begin{aligned} X &= \frac{V_\pi}{\omega_\phi} \arcsin \frac{r_h - Y}{r_h} + r_h \cos(\arcsin \frac{r_h - Y}{r_h}) = \frac{V_\pi}{\omega_\phi} \arcsin \frac{r_h - Y}{r_h} + \\ &+ r_h \sqrt{1 - \left(\frac{r_h - Y}{r_h} \right)^2} = \frac{V_\pi}{\omega_\phi} \arcsin \frac{r_h - Y}{r_h} + \sqrt{2r_h Y - Y^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Введем обозначение

$$\lambda = \frac{|V_{окр}|}{|V_\pi|}, \quad (4)$$

где $V_{окр}$ – окружная скорость, м/с;

V_π – поступательная скорость, м/с;

λ – показатель кинематического режима работы устройства.

Естественно, что вид кривой – циклоида (трахоида) и зависит она от $\lambda \gg 1$ [9].

С целью определения скорости резания и абсолютную скорость передвижения фрезерного рабочего органа продифференцировав уравнение (1) по t имеем:

$$\begin{cases} V_x = \frac{dX}{dt} = V_\pi - r_h \omega_\phi \sin(\omega_\phi t), \\ V_y = \frac{dY}{dt} = -r_h \omega_\phi \cos(\omega_\phi t). \end{cases} \quad (5)$$

Абсолютная скорость передвижения фрезерного рабочего органа состоит относительной и переносной скоростей. Следовательно, с учётом выражения (5) получим:

$$V_{абс} = V_\pi \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin(\omega_\phi t)}$$

Для качественного рыхления почвы в приствольной зоне плодового дерева значение окружной скорости ножа фрезы должно удовлетворять неравенству

$$V_{окр} \gg \sigma_\pi \sqrt{\frac{J_p + m_k r_h^2}{3EJ_p \rho_k (1 - \kappa^2)}} + V_\pi \quad (6)$$

где σ_π – предел прочности почвенной частицы, Па ;

J_p – момент инерции ротора фрезы, кгм²;

m_k – масса почвенной частицы, кг;

E – модуль упругости почвенной частицы, Па;

k – коэффициент восстановления почвенной частицы;

ρ_k – плотность почвенной частицы, кг/м³.

Используя соотношение (6) можно определить оптимальные конструктивно-технологические параметры вертикальной фрезы для обработки почвы пристольной зоны плодового дерева.

При $2 \leq V_p \leq 5$ км/ч, частота вращения ротора (900-1500 об/мин), угловую скорость вращения ротора определим по формуле $\omega = 2\pi n$, (7)

где n – частота вращения ротора.

Из выражения (7) при $N=900$ об/мин определим угловую скорость

$$\omega = 2\pi \cdot 15(\text{с}^{-1}) = 94,2 \text{ с}^{-1}.$$

$$\text{При } n = 1000 \text{ об/мин } \omega = 2\pi \cdot 16,6(\text{с}^{-1}) = 104,7 \text{ с}^{-1},$$

$$\text{При } n = 1500 \text{ об/мин } \omega = 2\pi \cdot 25,0(\text{с}^{-1}) = 157,0 \text{ с}^{-1}.$$

Таким образом, при вращении ротора фрезы 900-1500 об/мин, угловая скорость: $94,2 \text{ с}^{-1} \leq \omega \leq 157 \text{ с}^{-1}$

Линейная скорость определяется по формуле

$$V = \pi \cdot N \cdot D, \quad (8)$$

По формуле (8) определим линейную скорость ротора фрезы при постоянном диаметре ротора фрезы $D=0,55\text{м}$:

$$\text{при } n = 900 \text{ об/мин } V = \pi \cdot 0,55\text{м} \cdot 15\text{с}^{-1} = 25,9 \text{ м/с}$$

$$n = 1000 \text{ об/мин } V = \pi \cdot 0,55\text{м} \cdot 16,6 \text{ с}^{-1} = 28,7 \text{ м/с}$$

$$n = 1500 \text{ об/мин } V = \pi \cdot 0,55\text{м} \cdot 25 \text{ с}^{-1} = 43,2 \text{ м/с}$$

Таким образом, при вращении ротора вертикальной фрезы в пределах 900-1500 об/мин, линейная (окружная) скорость $25,9 \leq V \leq 43,2 \text{ м/с}$

При вращении ротора фрезы с $n_p = 1100$ об/мин ($18,33 \text{ с}^{-1}$) поступательная скорость агрегата:

$$V_p = 2,0 \text{ км/час (0,6 м/с). } S = 0,6 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,053 \text{ (с)}}{4} = 0,00796\text{м} = 7,96 \text{ мм}$$

$$V_p = 5,0 \text{ км/час (1,4 м/с). } S = 1,4 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,053 \text{ (с)}}{4} = 18,55 \text{ мм}$$

Таким образом, при оборотах ротора фрезы равной 1100 об/мин расстояние между траекторией ножа удовлетворяют неравенству $7,96\text{мм} \leq S \leq 18,55 \text{ мм}$

При вращении ротора фрезы с

$$n_p = 900 \text{ об/мин (15,0 с}^{-1}\text{). } V_p = 0,6 \text{ м/с}$$

$$1. V_p = 2,0 \text{ км/час } S = 0,6 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,067 \text{ (с)}}{4} = 10,05 \text{ мм}$$

$$2. V_p = 5,0 \text{ км/час (1,4 м/с). } S = 1,4 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,067 \text{ (с)}}{4} = 23,45 \text{ мм}$$

Таким образом, при оборотах ротора фрезы равной 900 об/мин расстояние между траекторией ножа удовлетворяют неравенству $10,05\text{мм} \leq S \leq 23,45 \text{ мм}$

При вращении ротора фрезы с $n_p = 700$ об/мин ($11,67 \text{ с}^{-1}$)

$$1. V_p = 2 \text{ км/час} = 0,6 \text{ м/с } S = 0,6 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,086 \text{ (с)}}{4} = 12,85 \text{ мм}$$

$$2. V_p = 5,0 \text{ км/час (1,4 м/с). } S = 1,4 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,086 \text{ (с)}}{4} = 30,10 \text{ мм}$$

Таким образом, при оборотах ротора фрезы равной 900 об/мин расстояние между траекторией ножа удовлетворяют неравенству $12,85\text{мм} \leq S \leq 30,10 \text{ мм}$

При вращении ротора фрезы с $n_p = 500$ об/мин ($8,3 \text{ с}^{-1}$)

$$1. V_p = 2 \text{ км/час} = 0,6 \text{ м/с } S = 0,6 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,12 \text{ (с)}}{4} = 18,00 \text{ мм}$$

$$2. V_p = 5 \text{ км/час} = 1,4 \text{ м/с } S = 1,4 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,12 \text{ (с)}}{4} = 42,0 \text{ мм}$$

$$18,0 \text{мм} \leq S \leq 42,0 \text{ мм}$$

При вращении ротора фрезы с $n_p = 300$ об/мин ($5,0 \text{ c}^{-1}$)

$$1. V_{\text{п}} = 2 \text{ км/час} = 0,6 \text{ м/с} \quad S = 0,6 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,2 \text{ (с)}}{4} = 30,0 \text{ мм}$$

$$2. V_{\text{п}} = 5 \text{ км/час} = 1,4 \text{ м/с} \quad S = 1,4 \text{ (м/с)} \cdot \frac{0,2 \text{ (с)}}{4} = 70,0 \text{ мм}$$

$$30,0 \text{ мм} \leq S \leq 70,0 \text{ мм}$$

Все полученные неравенства сведены в сводную таблицу 1.

Таблица 1 – Сводная таблица изменения пространства между соседними точками траектории циклоиды в зависимости от скорости движения агрегата

Расчеты проводились для поступательной скорости агрегата $V_{\text{п}}$ в пределах $2,0 \leq V_{\text{п}} \leq 5,0$ (км/ч)	При обороте ротора фрезы, об/мин	Поступат. скорость агрегата, км/ч	Расстояние между двумя соседними траекториями точек циклоиды	Поступат. скорость агрегата, км/ч	Расстояние между двумя соседними траекториями точек циклоиды
300	300	2	30,0 мм	5	70,0 мм
	500		18,0 мм		42,0 мм
	700		12,85 мм		30,10 мм
	900		10,05 мм		23,45 мм
	1100		7,96 мм		18,55 мм

Изменения пространства (S, S_i, S_{i+1}) между траекториями соседних точек циклоиды зависит от скорости движения агрегата, оборотов ротора фрезы и количества установленных ножей n_i на фрезе.

На рисунке 2, как пример, схематически показаны изменения S при постоянных факторах: скорость движения агрегата V_n , обороты ротора n и количество ножей на фрезе k_h . В данном случае $S = S_i = S_{i+1}$.

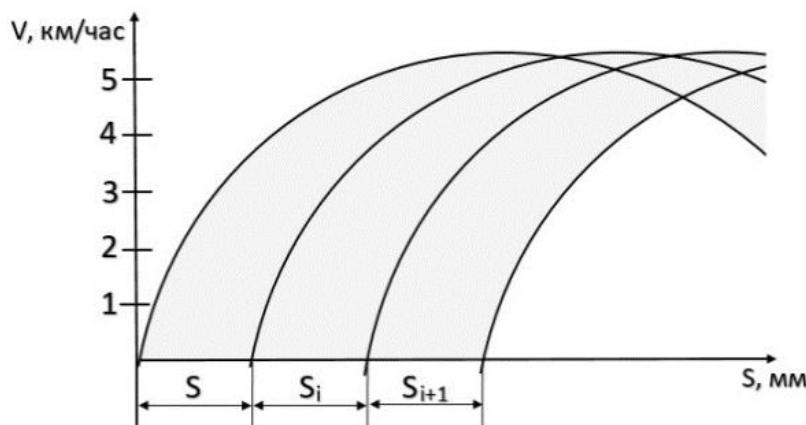


Рисунок 2 – Схема пространства между траекториями соседних точек циклоиды

По численным данным таблицы 1 построен график (рисунок 3).

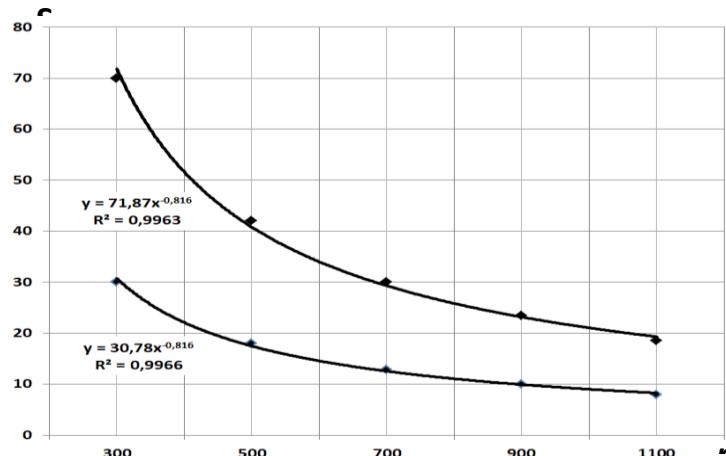


Рисунок 3 – График расчета изменения пространства между траекториями соседних точек циклоиды, $S = f(V_n, n)$

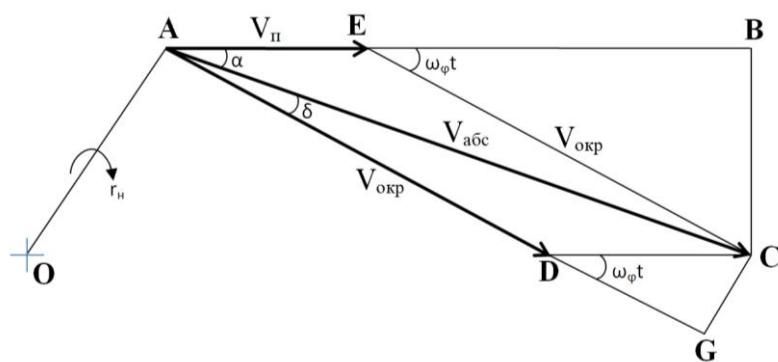


Рисунок 4 – Схема к определению кинематических показателей фрезерного рабочего органа

Из рисунка 4 следует, что скорость резания зависит от углов α и δ , т.е.

$$\alpha + \delta = \omega_\phi t \quad (9)$$

Кроме того $\tan \alpha = \frac{|BC|}{|AB|}$.

$$\text{Из } \Delta\text{-ка EBC: } \sin \omega_\phi t = \frac{|BC|}{|EC|} = \frac{|BC|}{|V_{\text{окр}}|}, \quad (10)$$

$$|BC| = |V_{\text{окр}}| \cdot \sin(\omega_\phi t). \quad |AB| = |V_n| + |EB| = |V_n| + \cos(\omega_\phi t) \cdot |V_{\text{окр}}|$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{|V_{\text{окр}}| \cdot \sin(\omega_\phi t)}{|V_n| + \cos(\omega_\phi t) \cdot |V_{\text{окр}}|} = \frac{\sin(\omega_\phi t)}{\frac{|V_n|}{|V_{\text{окр}}|} + \cos(\omega_\phi t)} = \frac{\sin(\omega_\phi t)}{\frac{1}{\lambda} + \cos(\omega_\phi t)} \\ \alpha &= \arctan \frac{\sin(\omega_\phi t)}{\frac{1}{\lambda} + \cos(\omega_\phi t)} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{Из } \Delta\text{-ка ACG определим } \tan \delta = \frac{|GC|}{|AG|}$$

$$\text{Из } \Delta\text{-ка DCG} \quad \sin(\omega_\phi t) = \frac{|GC|}{|DC|} \Rightarrow |GC| = |V_n| \sin(\omega_\phi t)$$

$$|DG| = \cos(\omega_\phi t) \cdot |V_n| \Rightarrow |AG| = |AD| + |DG| = |V_{\text{окр}}| + |V_n| \cdot \cos(\omega_\phi t)$$

$$\tan \delta = \frac{|V_n| \cdot \sin(\omega_\phi t)}{|V_{\text{окр}}| + |V_n| \cdot \cos(\omega_\phi t)} = \frac{\sin(\omega_\phi t)}{\lambda + \cos(\omega_\phi t)}$$

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{\sin(\omega_{\phi} t)}{\lambda + \cos(\omega_{\phi} t)} \quad (12)$$

Из формулы (11) и (12) следует, что [10]

$\alpha = f_1(\omega_{\phi} t, \lambda)$ и $\delta = f_2(\omega_{\phi} t, \lambda)$, т.е. если $0 < \omega_{\phi} t < \pi$ тогда $0 < \alpha \cdot \delta < \pi$

Из (9) следует, что увеличение показателя λ ведет к уменьшению значения δ до нуля, т.е. функция $\delta = f_2(\omega_{\phi} t, \lambda)$ – убывающая функция относительно $\lambda \rightarrow \infty$.

При $\alpha = 90^\circ$ $\cos(\omega_{\phi} t) = -\frac{1}{\lambda} \Rightarrow \omega_{\phi} t = \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right) = \omega_{\phi} t_1 = \frac{\pi}{2} + \arcsin\frac{1}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + \arcsin\frac{|V_{\text{п}}|}{|V_{\text{окр}}|}$, следовательно $\omega_{\phi} t_1 = f_3(\lambda)$.

Из выражения (10) имеем:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \arcsin\frac{1}{\lambda}\right)}{\frac{1}{\lambda} + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \arcsin\frac{1}{\lambda}\right)} = \operatorname{arctg} \frac{\cos(\arcsin\frac{1}{\lambda})}{0}, \Rightarrow \alpha = \frac{\pi}{2}$$

Из выражения (9):

$$\delta = \omega_{\phi} t_1 - \alpha = \frac{\pi}{2} + \arcsin\frac{1}{\lambda} - \frac{\pi}{2} = \arcsin\frac{1}{\lambda}, \quad \text{т.е. при } \alpha = \frac{\pi}{2}$$

$$\delta = \arcsin\frac{1}{\lambda} \quad (13)$$

Подача на нож определяется по выражению:

$$S_{\text{н}} = \frac{2\pi \cdot 25}{4\lambda} = 12,5 \frac{\pi}{\lambda} = f_4(\lambda) = f_4\left(\frac{|V_{\text{окр}}|}{|V_{\text{п}}|}\right) = 12,5 \frac{|V_{\text{п}}|}{|V_{\text{окр}}|}$$

Из выражения (13) следует, что подача на нож зависит от λ , т.е. увеличение $|V_{\text{окр}}|$ ведет к уменьшению подачи на нож и наоборот.

Угол установки ножа рассчитывается по выражению:

$$\psi = \arccos\left(\frac{1}{\lambda} + \frac{b_{\text{н}}}{0,5}\right) = \arccos\left(\frac{|V_{\text{п}}|}{|V_{\text{окр}}|} + \frac{b_{\text{н}}}{0,5}\right)$$

где $b_{\text{н}}$ – ширина ножа.

При $\lambda=2,96$ и при ширине ножа $b_{\text{н}} = 0,05\text{м}$ угол установки ножа составит

$$\psi = \arccos\left(\frac{1}{2,96} + \frac{0,05}{0,5}\right) = \arccos(0,43) = 64^\circ$$

По результатам теоретических исследований будет изготовлен опытный образец фрезы с вертикально-приводным ротором для обработки приствольной зоны плодовых деревьев в интенсивных садах и проведена оценка степени крошивости, способствующая повышению влагосодержания и улучшению физико-механического состава почвы

Выходы

1. Предложена новая конструктивно-технологическая схема фрезы с вертикально-приводным ротором для обработки приствольной зоны плодовых насаждений, позволяющая проводить обработку почвы в приствольной зоне методом «огибания» штамба, т.е. без вывода рабочего органа из линии ряда и повреждения коры штамбов деревьев.

2. Определены оптимальные конструктивно-технологические параметры предлагаемой фрезы с вертикально-роторным приводом для обработки приствольной зоны плодовых деревьев: скорость передвижения агрегата от 2 до 5 км/час; угловая скорость вращения ротора фрезы от 94,2 до 157,0 (с^{-1}); угол установки ножей фрезы от 60° до 65° ; линейная скорость ротора фрезы составит от 25,9 до 43,2 м/с

3. Расстояние S между точками траектории ножа ротора вертикально-роторной фрезы является функцией двух переменных, т.е. $S = f(V_{\text{п}}, n)$, где $V_{\text{п}}$ – поступательная скорость агрегата; n – частота вращения ротора фрезы. Функция $S = f(V_{\text{п}}, n)$ – возрастающая относительно $V_{\text{п}}$, а относительно частоты вращения – убывает.

Благодарность. Статья выполнена в рамках программно-целевого финансирования Министерства промышленности и строительства РК «Разработка и совершенствование

технических средств и технологического оборудования, обеспечивающих реализацию научно-обоснованных технологий производства продукции растениеводства» на 2024-2026гг.

Список литературы

1. Жапаев Р., Куныпияева Г., Жумагали О, Сембаева А, Кудайберген К., Какимжанов Е. Влияние разных способов обработки почвы на ее агрофизические и агрохимические свойства почвы в условиях богары Юго-Востока казахстана. Журнал: Изденистер, нәтижелер – Исследования, результаты №2 (2-1) 2024, С.220-232
2. Куныпияева Г.Т., Жабаев Р.К., Бастаубаева Ш.О., Оспанбаев Ж., Майбасова А.С., Жусупбеков Е.К. Структурно-агрегатный состав и водопрочность почвы в зависимости от способов обработки почвы в условиях Юго-Востока Казахстана». Журнал: Изденистер, нәтижелер – Исследования, результаты №2 (2-1) 2024, С.284-294.
3. Алёхин А.В. Обоснование параметров и режимов работы ротационного рабочего органа для обработки почвы в интенсивных садах. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, Мичуринск-наукоград, 2010. - 18 с
4. Красовский В. В. Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, Зерноград, 2018. - 17 с
5. Пономарев А.В. Параметры ротационной бороны для поверхностной обработки почвы в приствольных зонах плодовых деревьев. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, Зерноград, 2018. - 17 с
6. Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов И.И., Султан-Шах Е.Г. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: учебник для вузов с/х машиностроения. М., Машиностроение, 1978. - С.150-153
7. Джабборов Н.И., Сергеев А.В., Семенова Г.А. Оценка степени крошения почвы динамичными почвообрабатывающими рабочими органами. Известия С-Пб ГАУ. - 2020. - №2 (59). - С.146-153.
8. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Изд-во Лань, Санкт-Петербург, 2021, 468с.
9. Коровкин В.Н. и др. Учебное пособие по теоретической механике. Владимир, 2000, 152с.
10. Бойко Л.А. и др. Теоретическая механика, Владимир, 2003, 96с.

References

1. Zhapaev R., Kunypiyeva G., Zhumagali O, Sembayeva A, Kudajbergen K., Kakimzhanov E. Vliyanie raznyh sposobov obrabotki pochvy na ee agrofizicheskie i agrohimicheskie svojstva pochvy v usloviyah bogary Yugo-Vostoka kazahstana. Zhurnal: Izdenister, nətizheler – Issledovaniya, rezul'taty №2 (2-1) 2024, S.220-232
2. Kunypiyeva G.T., Zhabaev R.K., Bastaubaeva Sh.O., Ospanbaev Zh., Majbasova A.S., Zhusupbekov E.K. Strukturno-agregatnyj sostav i vodoprochnost' pochvy v zavisimosti ot sposobov obrabotki pochvy v usloviyah Yugo-Vostoka Kazahstana». Zhurnal: Izdenister, nətizheler – Issledovaniya, rezul'taty №2 (2-1) 2024, S.284-294.
3. Alyohin A.V. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty rotacionnogo rabochego organa dlya obrabotki pochvy v intensivnyh sadah. Avtoreferat diss. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk, Michurinsk-naukograd, 2010. - 18 s
4. Krasovskij V. V. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty ksilki dlya skashivaniya sideratov v mezhduryad'yah sadov i vinogradnikov. Avtoreferat diss. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk, Zernograd, 2018. - 17 s
5. Ponomarev A.V. Parametry rotacionnoj borony dlya poverhnostnoj obrabotki pochvy v pristvol'nyh zonah plodovyh derev'ev. Avtoreferat diss. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk, Zernograd, 2018. - 17 s

6. Bosoj E.S., Vernyaev O.V., Smirnov I.I., Sultan-Shah E.G. Teoriya, konstrukciya i raschet sel'skohozyajstvennyh mashin: uchebnik dlya vuzov s/h mashinostroeniya. M., Mashinostroenie, 1978. - S.150-153
7. Dzhabborov N.I., Sergeev A.V., Semenova G.A. Ocenna stepeni krosheniya pochvy dinamichnymi pochvoobrabatyvayushchimi rabochimi organami. Izvestiya S-Pb GAU.- 2020. - №2 (59). - S.146-153.
8. Buhgol'c N.N. Osnovnoj kurs teoreticheskoy mekhaniki. Izd-vo Lan', Sankt-Peterburg, 2021, 468s.
9. Korovkin V.N. i dr. Uchebnoe posobie po teoreticheskoy mekhanike. Vladimir, 2000, 152s.
10. Bojko L.A. i dr. Teoreticheskaya mekhanika, Vladimir, 2003, 96s.

**A.С.Рзалиев¹, А.У.Серікбаев², Б. Жунусбаев^{1*}, А.Б. Жунусбаев¹,
Р.Б.Жунусов¹, Б.К.Сатыбай¹**

¹ «Агроинженерия гылыми-өндірістік орталығы ЖШС», Алматы қ., Қазақстан
rzaliyev24@bk.ru, bekm.zhunusbaev@yandex.ru*, almazz70@mail.ru,
Zhunusov.rustem@internet.ru, batyrkhan.satybay@mail.ru

² Қазақ үлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ.
abdukarim.serikbayev@kaznaru.edu.kz

**ЖЕМІС АҒАШТАРЫНЫң ДІҢІ АЙМАҒЫН ӨНДЕУГЕ АРНАЛҒАН
ТІК-РОТОРЛЫҚ ФРЕЗАНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРИН НЕГІЗДЕУГЕ БАҒЫТТАЛҒАН
ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР**

Аңдатта

Жеміс екпелерін күтіп-баптау жұмыстарының технологиясындағы ең маңызды операция – діңге жақын аймақта топырақты өндеу. Оның мақсаты арамшөптерді жою және топырақтың үстінгі қабатын 3-10 см терендікте қосыту, ылғалды жинақтау, жеткілікті су өткізгіштігін, тамырлы көкжиектердің аэрациясын және жылдынуын қамтамасыз ету.

Дәстүрлі ауылшаруашылық құралдары (дискілі тырмалар, көлденең осыті қосытқыштар) арамшөптерді толығымен жоймайды, есімдік қалдықтарымен бітеліп қалады, есімдіктердің тамыр жүйесін зақымдайды, бұл жазда су және жел эрозиясының дамуына және қыста тамырлардың қатуина ықпал етеді.

Соңғы жылдары топырақ өндеуге арналған тік айналмалы білігі бар машиналарға көбірек көңіл бөлінуде, олар жоғарыда аталған кемшіліктерге бейім емес.

Жұмыстың мақсаты – жеміс ағашы діңі аймағын өндеу барысында, құрал мен өндеу нысаны өзара соқтығысып, зақымдану ықтималдығын болдырмау мақсатында, жеміс ағашы діңін (штамб) айланып өтетін тік роторлы, айналмалы білігі бар фрезаны жобалап жасау және конструкциясымен технологиялық схемасын ұсыну. Теориялық зерттеулер нәтижесінде топырақты өндеуге арналған роторлық фрезасының жұмыс параметрлері ұсынылған.

Жеміс өнімдерін өндірумен айналысатын кәсіпкерлер мен фермерлер үшін, маңызды мәселе қатараралық және діңге жақын аумақты механикалық өндеуге арналған заманауи техникалардың жоқтығы болып табылады. Жеміс ағаштарының діңі аймағындағы топырақты өндеуге арналған отандық өндірістегі техникалық құралдардың жоқтығы, жүргізіліп жатқан зерттеулердің өзектілігі мен жаңалығын айқындайды.

Тік айналмалы білігі бар ротордың жұмысының түпнұсқалық конструкциясы мен технологиялық схемасы ұсынылған; техникалық нәтиже - магистральдық аймақты өндеуден кейін топырақтың үгітіліу дәрежесінің жоғарылауы.

Магистральды аймақта топырақты өндеуге арналған ротор жұмыс параметрлерінің теориялық негізdemесі келтірілген. Зерттеу нәтижесінде негізгі конструктивтік параметрлердің, сондай-ақ ұсынылған кескіш конструкциясының жұмыс режимдерінің технологиялық процестің сапасына әсерін анықтауға мүмкіндік беретін аналитикалық тәуелділіктер алынды.

Фрезаның оңтайлы конструктивтік және жұмыс параметрлерін анықтау бойынша теориялық зерттеулер мен тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері негізінде АФӨО

зауыттарында жеміс ағаштарының дің аймағын өңдеуге арналған тік айналмалы білігі бар кескіштің тәжірибелік үлгісі дайындалады.

Кітт сөздер: жеміс ағаштары, дің, дің аймағы, топырақ өңдеу, тік фреза, ұсақтау

**A.S.Rzaliev¹, A.U.Serikbayev², B. Zhunusbaev^{1*}, A.B.Zhunusbaev¹,
R.B.Zhunussov¹, B.K.Satybay¹**

¹ «Scientific Production Center of Agricultural Engineering» LLP, Almaty, Kazakhstan,
rzaliyev24@bk.ru, bekm.zhunusbaev@yandex.ru*, almazz70@mail.ru,
Zhunussov.rustem@internet.ru, batyrkhan.satybay@mail.ru

² Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan,
abdukarim.serikbayev@kaznaru.edu.kz

THEORETICAL STUDIES ON THE JUSTIFICATION OF PARAMETERS MILLING CUTTERS WITH A VERTICAL ROTARY SHAFT OF ROTATION FOR PROCESSING OF THE TRUNK AREA OF FRUIT TREES

Abstract

One of the most important operations in the maintenance of fruit plantations is soil cultivation in the near-trunk zone. Its main purpose is to eliminate weeds and loosen the topsoil to a depth of 3 to 10 cm, which promotes moisture retention, ensures sufficient water permeability and aeration, and facilitates the warming of the root-inhabited soil layers.

Traditional agricultural implements—such as disk harrows and horizontal-axis cultivators—fail to completely eliminate weeds, often become clogged with plant residues, and damage plant root systems, contributing to water and wind erosion in summer and root freezing in winter.

In recent years, increasing attention has been given to machines with vertically rotating shafts for soil cultivation, which are less prone to the aforementioned drawbacks.

The objective of this work is to develop a vertical-rotor cutter capable of operating in the near-trunk zone of fruit trees while "bypassing" the tree trunk with its working body, thereby preventing potential damage to both the tool and the plant.

A significant challenge faced by entrepreneurs and farmers involved in fruit production is the lack of modern machines for mechanical cultivation of the inter-row and near-trunk zones. The absence of domestically produced technical equipment for tilling the near-trunk zone of fruit crops highlights the relevance and novelty of the research.

An original structural and technological scheme of a vertical-rotor cutter is proposed. The expected technical result is an increased degree of soil crumbling after near-trunk zone cultivation.

The paper presents the theoretical justification of the operating parameters of the cutter for soil cultivation in the near-trunk zone. As a result of the research, analytical dependencies were obtained that make it possible to determine the influence of key design parameters and operating modes on the quality of the technological process.

Based on theoretical studies of optimal design and operating parameters, as well as the results of experimental research, a prototype of the vertical-rotor cutter for near-trunk soil cultivation of fruit trees will be manufactured at the SPCAE production facilities.

Keywords: fruit trees, trunk, near-trunk zone, soil cultivation, vertical cutter, soil crumbling.

Вклад авторов:

1. Рзалиев Аскар Сапашевич – общее руководство исследованием;
2. Серикбаев Абдукарим Усерович – теоретическое обоснование параметров;
3. Жунусбаев Бекмуханбет – теоретическое обоснование параметров;
4. Жунусбаев Алмаз Бекмуханбетович – обзор литературы и патентный поиск;
5. Жунусов Рустем Болатович – обзор литературы и патентный поиск.
6. Сатыбай Батырхан Кайратулы – обзор литературы и патентный поиск.