

На правах рукописи



БОРОДИН ВИТАЛИЙ ИГОРЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕЖДУРЯДНОЙ
ОБРАБОТКИ БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР ЗА СЧЕТ
ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ
ПОЛОЛЬНЫХ ЛАП**

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса (технические науки)

Автореферат

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград 2026 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Научный руководитель:

Мартынов Иван Сергеевич

кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Калинин Андрей Борисович,

доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный аграрный
университет», профессор кафедры
«Технических систем в агробизнесе».

Камбулов Сергей Иванович,

доктор технических наук, ФГБНУ
«Аграрный научный центр
«Донской», главный научный
сотрудник лаборатории механизации
полеводства отдела механизации
растениеводства.

Ведущая организация:

федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Донской государственный аграрный
университет»

Защита диссертации состоится «01» декабря 2026 года в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.007.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» по адресу: 400002, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26., 303Д.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ и на сайте университета www.volgau.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Седов Алексей Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Междурядная обработка почвы дает возможность контролировать засорённость посевов нежелательной растительностью, сбалансированность поступления минералов к растениям и результативность использования удобрений. Повышение продуктивности как пропашных, так и других сельскохозяйственных культур—это приоритетная задача при разработке усовершенствованных технологических подходов и рабочих элементов техники для обработки почвы.

При выращивании бахчевых культур возникает проблема недостаточной влажности почвы в прикорневой зоне, особенно это важно на стадии появления первых листьев и начала развития корневой системы. К тому же это важно связи с тем что сорные растения развиваются быстрее и для них не требуется большое количество влаги чем для культурных, тем самым сорняки забивают почву, мешая развитию культурных растений.

Исходя из выше изложенного, возникает острая необходимость в разработке и внедрении усовершенствованных рабочих органов для междурядной обработки почвы. Эти органы должны быть ориентированы на эффективное подавление сорной растительности при одновременном повышении уровня влажности почвы в корнеобитаемой зоне культурных растений.

Решение этой проблемы, особенно важно для такого вида пропашных культур, как бахчевые, возделываемые как правило в условиях засушливого климата. Это поможет повысить урожайность пропашных культур и улучшить экономический показатель сельскохозяйственного производства.

Степень разработанности темы.

В исследования по механизации бахчеводства огромный вклад внесли известные ученые: Листопад Г.Е., Цепляев А.Н., Шапров М.Н., Чабан Л.Н., Малюков В.И., Абезин В.Г., Далин А.Д., Кудзаев А.Б., Пындак В.И. и многие другие.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями процесса поверхностной обработки пропашных культур занимались Бойков В.М., Абезин В.Г., Цепляев А.Н., Алдошин Н.В., Несмиян А.Ю., Борисенко И.Б. и другие.

В настоящее время над проектированием и созданием машин для междурядной обработки бахчевых культур плодотворно работают сотрудники Волгоградского ГАУ: Цепляев А.Н., Цепляев В.А., Шапров М.Н., Мартынов И.С., Матасов А.Н.

Объект исследований - междурядная обработка бахчевых культур и конструктивно – технологические параметры рабочих органов культиватора.

Предмет исследований – технологический процесс обработки почвы полыми лапами с обоснованием их конструктивно-технологических параметров.

Целью исследования - является повышение эффективности технологии междурядной обработки бахчевых культур за счет

совершенствования конструкции полольных лап, позволяющих увеличивать влажность в почве в прикорневой зоне.

Задачи исследования.

1. Проанализировать существующие технологии и средства механизации междурядной обработки пропашных культур.

2. Усовершенствовать конструкцию полольной лапы пропашного культиватора.

3. Провести теоретические исследования модернизированной полольной лапы культиватора КРН-4.2 с установленным уплотнителем с целью обоснования ее основных конструктивных параметров.

4. Осуществить экспериментальную проверку модернизированной полольной лапы пропашного культиватора для определения и подтверждения ее основных конструктивных характеристик.

5. Определить экономическую эффективность применения модернизированной полольной лапы пропашного культиватора при междурядной обработке бахчевых культур.

Научную и техническую новизну составляют:

- модернизированная конструкция полольной лапы пропашного культиватора.

- теоретическое обоснование параметров уплотнителя полольной лапы.

Новизна технических решений подтверждается патентами РФ на полезную модель № 221726, 236740.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в получении аналитической зависимости, по определению конструктивных параметров уплотнителя полольной лапы, обеспечивающего подтягивание почвенной влаги к корневой системе бахчевых культур.

Определено условие, обеспечивающее скользящее перемещение почвы по поверхности модернизированной полольной лапы.

Модернизирована конструкция рабочего органа культиватора, обеспечивающая увеличение влажности почвы. Определены основные конструктивно-технологические параметры уплотнителя полольной лапы культиватора. Практическая значимость состоит в том, что модернизированная полольная лапа культиватора позволяет осуществить междурядную обработку бахчевых культур и повысить влажность почвы в корнеобитаемом слое.

Методология и методы исследования. Для проведения теоретических исследований мы опирались на проверенные временем принципы и инструменты классической механики и математики, которые составляют основу нашего понимания исследуемых явлений. В ходе экспериментальных исследований был использован комплексный подход, сочетая работу в реальных условиях (полевые исследования) с точными измерениями в лабораторной среде. Все этапы экспериментов проходили в строгом соответствии с действующими стандартами, чтобы обеспечить достоверность результатов. Для достижения максимальной эффективности и

глубины анализа мы применяли как широко используемые, так и собственные методики, а также задействовали большой аппарат теории многофакторного планирования эксперимента.

Лабораторные испытания лап были реализованы на специализированной установке, расположенной в почвенном канале Волгоградского государственного аграрного университета. Обработка собранных данных осуществлялась с помощью стандартных программных средств.

Положения выносимые на защиту:

1. модернизированная конструкция полольной лапы пропашного культиватора новизна которой подтверждается патентами на полезную модель РФ № 221726, 236740;
2. результаты теоретических и экспериментальных исследований модернизированной конструкции полольной лапы пропашного культиватора;
3. технико-экономические показатели эффективности применения модернизированных полольных лап пропашного культиватора.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается материалами проведенного исследования с использованием современной регистрирующей и измерительной аппаратуры в лабораторных условиях и в процессе проведения полевых испытаний. Также результаты исследований имеют высокую сходимость теоретических данных и данных, полученных экспериментальным путем, в том числе в полевых условиях. Результаты исследований по теме научно-квалификационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на следующих научных мероприятиях:

1. XXVII региональной конференции молодых ученых и исследователей, 10-11 ноября 2022, г. Волгоград;
2. Международной научно-практической конференции «Актуальные тенденции в развитии агрономической науки» 27 февраля 2023г. Новосибирск;
3. XXVIII региональной конференции молодых ученых и исследователей, 25–27 октября 2023 года, г. Волгоград;
4. Международная конференция «Научные исследования – основа современной инновационной системы», 1 мая 2024 г. В г. Стерлитамак;
5. XIX международной научно-практической конференции молодых исследователей «наука и молодежь: новые идеи и решения» посвященной 80-й годовщине победы в великой отечественной войне. 20-21 марта 2025, г. Волгоград;
6. XXX региональной конференции молодых ученых и исследователей, ноябрь 2025 г. Волгоград;
7. Национальной научно-практической конференции «Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий» 28 ноября 2025г. Волгоград;
8. Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в агропромышленном комплексе в условиях цифровой трансформации» 26-27 февраля 2026г., Волгоград.

Разработанные рабочие органы успешно внедрены в комплексе машин ИП Икоева Н.Л. Астраханской области (2025г.) и ООО «АгроПрогресс» Волгоградской области (2025г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получены 2 патента РФ на полезную модель. Общий объем опубликованных работ составляет 3,77 п.л., в том числе на долю автора приходится 1,5 п.л.

Объем и структура диссертации. Научная работа изложена на 160 страницах текста и включает в себя: введение, 5 глав, заключение, список условных обозначений, список литературы, приложения. Список литературы состоит из 111 источников, в работе 82 изображения, 12 таблиц и 15 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Оценка применяемых методик и машин для междурядной обработки почвы» была проведена оценка применяемых методик и машин для междурядной обработки почвы, был проведен анализ условий возделывания бахчевых культур, с обзором существующих сельскохозяйственных машин и орудий для междурядной обработки почвы, а также экспериментальные рабочие органы представленные различными учеными. Анализ выявил недостаточную изученность существующих исследований направленных на увеличение влажности почвы при междурядной обработки бахчевых культур. Создание модернизированного рабочего органа для междурядной обработки способного к дополнительному подъему уровня влаги в почве на этапе формирования корневой системы позволит повысить равномерность созревания и количества урожая. Таким образом, повышение эффективности технологии междурядной обработки бахчевых культур за счет совершенствования конструкции полольных лап, позволяющих увеличивать влажность в почве в прикорневой зоне, является актуальной задачей. По результатам анализа технологий и технических средств сформированы цели и задачи исследования.

Во второй главе «Теоретическое обоснование параметров полольной лапы культиватора» представлена конструкция модернизированной полольной лапы для междурядной обработки почвы (рисунок 1). Она состоит из стойки 1, одностороннего плоскорежущего лезвия 2 с вертикальной щекой 3 и уплотнитель 4.

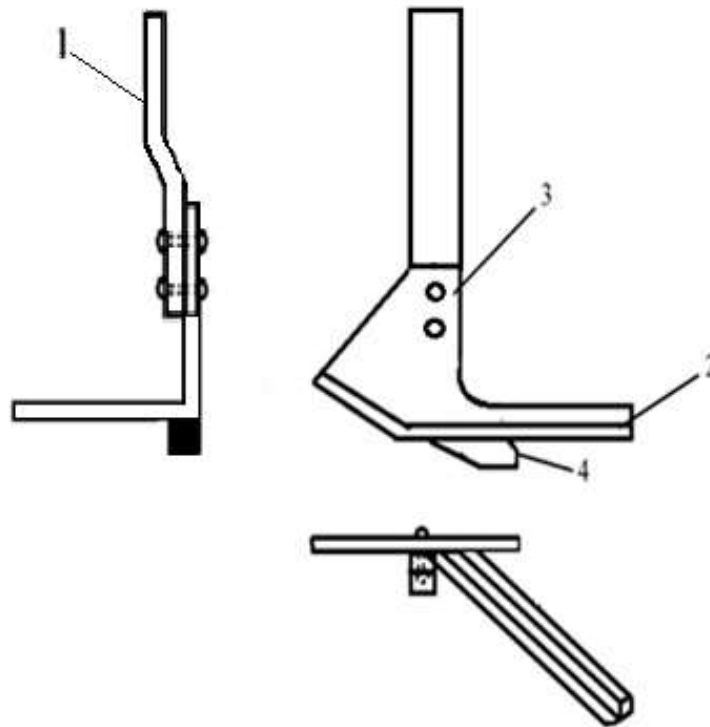


Рисунок 1-Рабочий орган для междурядной обработки посевов
пропашных культур:

1-стойка, 2 – плоскорежущее лезвие, 3-вертикальная щека, 4-уплотнитель.

Технологический процесс полевой лапы осуществляется следующим образом.

В процессе междурядной обработки полевая лапа культиватора движется в верхнем слое земли, рабочей частью плоскорежущего лезвия 2 подрезает сорные растения и рыхлит почву. Верхний слой почвы и подрезанные сорные растения перемещаются по плоскорежущему лезвию 2 лапы, вертикальная щека 3 предохраняет растения от засыпания их почвой. Уплотнитель 4, установленный в нижней части вертикальной щеки, уплотняет нижний слой почвы обрабатываемой зоны в результате чего образуются дополнительные капилляры, что позволяет подтягивать влагу из более глубоких слоев к корневой системе. Новизна разработки подтверждается патентами на полезную модель РФ № 221726, 236740.

Определение параметров уплотнителя процессе междурядной обработки, помимо подрезки корней сорняков и разрушения почвенной корки, происходит также уплотнение почвы, что также следует учитывать как вид сопротивления. Таким образом, тяговое сопротивление лапы в направлении оси X и тяговое сопротивление лапы в горизонтальной плоскости будут равны.

$$R_x = R_{y_{\text{пл}}} + R_{\alpha x} + R_{F_x} + R_{G_x} \quad (1)$$

где: $R_{упх}$ —это горизонтальная компонента силы сопротивления, которую оказывает почва на уплотнитель. Измеряется в Ньютонах.

$R_{ох}$ —это сила сопротивления почвы, возникающая при деформации, и она определяется экспериментально. Н.

$R_{ГХ}$ —это компонент силы сопротивления, необходимый для преодоления статического давления слоя почвы. Н.

$R_{ФХ}$ —это сила сопротивления, необходимая для преодоления динамического давления слоя почвы. Н.

Важно отметить, что равнодействующая ($N_{уп}$) элементарных нормальных сил сопротивления (составляющих реактивной силы $R_{уп}$) не совпадает по направлению с направлением силы F . Она отклоняется на угол трения φ . Тогда $R_{уп}$ определим:

$$R_{уп} = \frac{N_{уп}}{\cos \varphi} = \frac{q_0 \cdot h_{уп}^2 \cdot b_{уп}}{2 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha_{уп}} \quad (2)$$

где: $b_{уп}$ – ширина уплотнителя, м., q_0 – коэффициент объемного смятия почвы (Н/см^3), $h_{уп}$ - высота уплотнителя м., φ – угол трения почвы, град. , $\alpha_{уп}$ - угол уплотнителя, град.

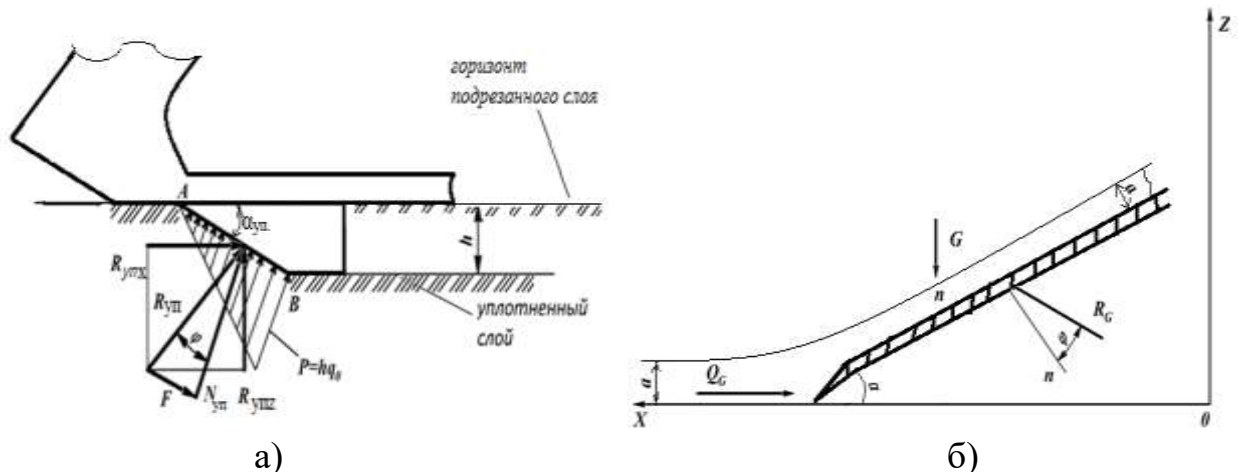


Рисунок 2 – Силы действующие: а) на почву при уплотнении; б) на лапу

Проектируя эти силы на оси координат, OX и OZ находим:

$$\left. \begin{aligned} Q_G &= R_G \cdot \sin(\alpha + \varphi), \\ G &= R_G \cdot \cos(\alpha + \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\text{Откуда} \quad Q_G = G \cdot \tan(\alpha + \varphi). \quad (4)$$

Поскольку

$$R_{ГХ} = Q_G = G \cdot \tan(\alpha + \varphi), \quad (5)$$

$$G = a \cdot b \cdot l \cdot \rho_n \cdot x \cdot g \quad (6)$$

где: a – глубина хода клина, м; b – ширина захвата клина, м; l – длина рабочей поверхности клина AB , м; ρ_n - плотность почвы, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

$$R_{ГХ} = a \cdot b \cdot l \cdot \rho_n \cdot g \cdot \tan(\alpha + \varphi). \quad (7)$$

Воздействие динамического давления почвенного слоя (F_d) на рабочую зону лапы, обусловленное инерционными свойствами массива, трактуется как непрерывное столкновение частиц почвы с ее поверхностью. Следовательно, применяя принцип изменения импульса.

$$dm(v_a - v_0) = F_d dt, \quad (8)$$

где: v_0 – скорость частиц почвы в начале, до их соприкосновения с лапой $v_0=0$, v_a – скорость движения пласта, м/с.

Это позволяет нам использовать упрощенную формулу для определения скорости движения почвенного пласта.

$$v_a = 2 \cdot v \cdot \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (9)$$

где: v_a – скорость движения почвенного пласта; v – поступательная скорость движения клина.

Учитывая, что «начальная скорость почвы v_0 равна нулю, динамическая сила сопротивления (F_d) определяется следующим образом

$$F_d = v_a \frac{dm}{dt}. \quad (10)$$

Подставив выражения 7 в 8, получим

$$F_d = 2 \cdot a \cdot b \cdot \rho_n \cdot v^2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (11)$$

Сила F_d компенсируется противодействующей силой R_F , направленной под углом φ относительно нормали Q_F , которую для упрощения можно считать горизонтальной.

Проекция силы R_d на оси

$$\left. \begin{aligned} R_{FX} &= Q_F + F_d \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \\ R_{FZ} &= F_d \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Выразив R_{FX} и R_{FZ} соответственно через

$$R_{FX} = R_F \cdot \sin(\alpha + \varphi), \quad (13)$$

$$R_{FZ} = R_F \cdot \cos(\alpha + \varphi), \quad (14)$$

и решая уравнения (12) с учетом (11), получим:

$$R_{FX} = a \cdot b \cdot \gamma_{оо} \cdot v^2 \sin \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (15)$$

$$R_{FZ} = a \cdot b \cdot \gamma_{оо} \cdot v^2 \sin \alpha. \quad (16)$$

Сопротивление смятию почвы уплотнителем можно определить по формуле (1), а его горизонтальная проекция

$$R_{упх} = \frac{q_0 \cdot h_{упл}^2 \cdot b_{уп} \cdot \sin(\alpha_{уп} + \varphi)}{2 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha_{уп}} \quad (17)$$

Таким образом, тяговое сопротивление модернизированной полольной лапы в направлении оси X будет иметь вид:

$$R_x = \frac{q_0 \cdot h_{уп}^2 \cdot b_{уп} \cdot \sin(\alpha_{уп} + \varphi)}{2 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha_{уп}} + a \cdot b \cdot \rho_n \cdot v^2 \cdot \sin \alpha_{уп} \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{уп} + \varphi) + a \cdot b \cdot l \cdot \rho_n \cdot g \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{уп} + \varphi) \quad (18)$$

Причем, для устойчивого хода лапы должно выполняться условие

$$R_{упх} < R_{Gx} \quad (19)$$

Геометрические размеры уплотнителя: длина является конструктивной шириной лезвия полевой лапы, высота и ширина была определена экспериментально, целью проведенных исследований для нас являлась максимальное удержание влаги в течении 5-10 дней с момента первой междурядной обработки, при минимальной площади уплотнителя. Носок тела заострён вверх в виде клина под углом равным углу трения почвы о сталь, является угол от 14° до 42° . Для светло-каштановой почвы влажностью не более 20% отлично подходит угол равный $20-25^\circ$.

Рассматривая процесс междурядной обработки применим зависимость определения глубины смятия почвы по следующему уравнению (20). Визуально схема уплотнения почвы отображена на рисунке 3.

$$h_{упл.п} = h_{обр} + h_{упл} + h_{см} \quad , \quad (20)$$

где: $h_{обр}$ - глубина обработки, м, $h_{упл}$ - высота уплотнителя, м, h_c - глубина посева, м, $h_{см}$ - глубина смятия, м, $h_{упл.п}$ – глубина уплотнения почвы, м

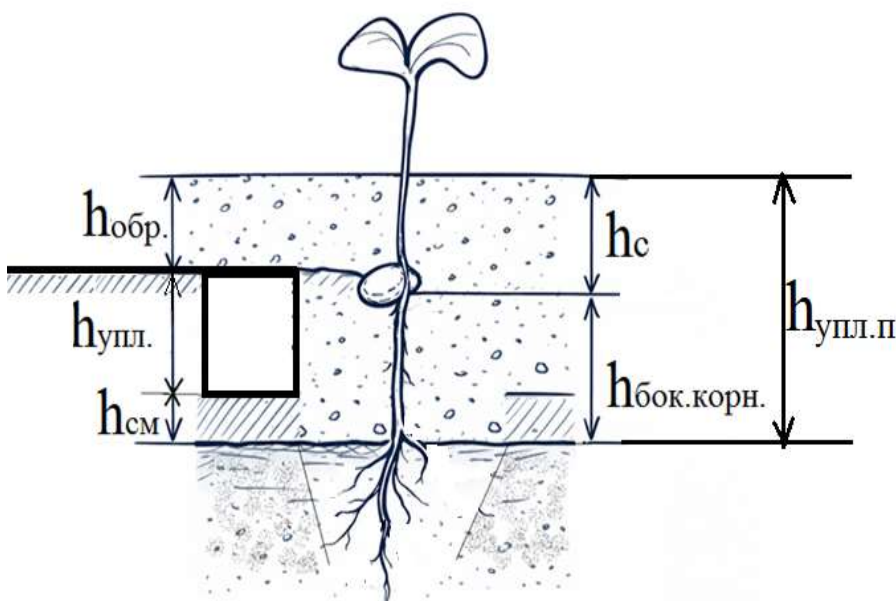


Рисунок 3 - Схема уплотненной почвы

Для концентрации влаги в зоне первого яруса формирования боковой корневой системы, высоту уплотнения почвы можно определить из равенства (21) в котором складывается глубина посева (h_c) и расстояние от семени до начала формирования боковой корневой системы ($h_{бок.корн.}$),

$$h_{упл.п} = h_c + h_{бок.корн.} \quad (21)$$

учитывая уравнения полученные в (20) и (21) можно высоту уплотнителя.

$$h_{упл.} = h_c + h_{бок.корн.} - h_{обр} - h_{см} \quad (22)$$

Используя фундаментальное уравнение для описания динамики водного режима в почвах:

$$C(h) \frac{dh}{dt} = \nabla[K(h)(\nabla h + \rho g \nabla z)] + S(t) \quad (23)$$

где: h -гидравлический потенциал (напор), м, $K(h)$ - гидравлическая проводимость (функция напора), (м/с), $C(h)$ - емкость почвы (%), ρ - плотность почвы (г/см³), g -ускорение свободного падения, м/с, z -вертикальная координата, $S(t)$ - корневые всасывания.

Применительно к горизонтальному движению влаги (без учета гравитации) уравнение примет вид:

$$C(h) \frac{dh}{dt} = \frac{d}{dx} \left(K(h) \frac{dh}{dx} \right) + Q(x, t) \quad (24)$$

где: (x, t) - гидравлический потенциал в X и времени t

$Q(x, t)$ – объем влаги, поступающей извне (полив, испарение или потребление корней).

Допустим, имеется два слоя почвы различной влажности, разделенной границей с растениями посередине. Тогда, используя одномерное решение уравнения Ричардса, получим:

$$\frac{dW}{dt} = D \left[\frac{W_1 - W_2}{L} \right] \quad (25)$$

где: W_1, W_2 – влажность более и менее увлажненных слоев, % ; L –расстояние между границами слоев с наименьшим и наибольшей влажностью, м (рисунок 4).

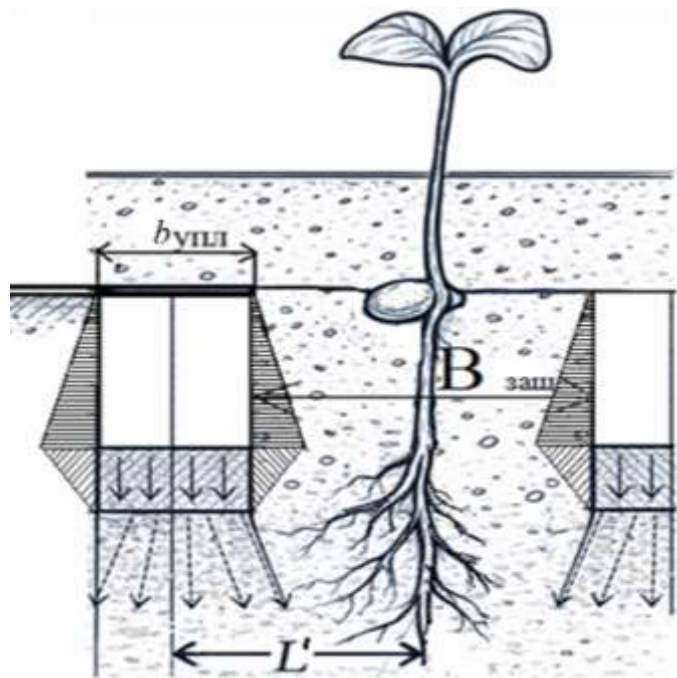


Рисунок 4- Схема границ слоев почвы

При этом:

$$L = \frac{B_{\text{защ}}}{2} + \frac{b_{\text{упл.}}}{2} = \frac{B_{\text{защ}} + b_{\text{упл.}}}{2} \quad (26)$$

Проинтегрировав уравнение Ричардса, выразим

$$L = \int_{x_1}^{x_2} |W'(x)| dx \quad (27)$$

$$b_{\text{упл.}} = 2L - B_{\text{защ.}} = (2 \int_{x_1}^{x_2} |W'(x)| dx) - B_{\text{защ.}} \quad (28)$$

$b_{\text{упл.}}$ равно длине BC а оно в свою очередь меньше $AB \sin \gamma$

$$B_{\text{упл.}} = BC < AB \sin \gamma \quad (29)$$

Учитывая выражения 5 и 17, получим

$$\frac{q_0 \cdot h_{yn}^2 \cdot b_{yn} \cdot \sin(\alpha_{yn} + \varphi)}{2 \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha_{yn}} < \alpha_{yn} \cdot b \cdot l \cdot \rho_n \cdot tg(\alpha_{yn} + \varphi), \quad (30)$$

Из этого неравенства получим b_{yn} .

$$b_{yn} < \frac{2a \cdot b \cdot l \cdot \rho_n \cdot tg(\alpha_{yn} + \varphi) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha_{yn}}{q \cdot h_{yn}^2 \cdot \sin(\alpha_{yn} + \varphi)} \quad (31)$$

Ширина защитной полосы выбирается исходя из особенностей развития корневой системы бахчевых культур с подтягиванием влаги из нижних слоев почвы к боковым корням с обеих сторон рядка и определяется из условия: ширина защитной зоны должна быть больше или равна ширине развития корней плюс 4-6 см. $V_{заш.} \geq V_{корн.} + (4 \dots 6) \text{ см.}$

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» был произведен анализ эффективности работы модернизированной полольной лапы при помощи общей методики экспериментальных исследований. Для исследования развития корневой системы бахчевых культур была разработана лабораторная установка (рисунок 5).

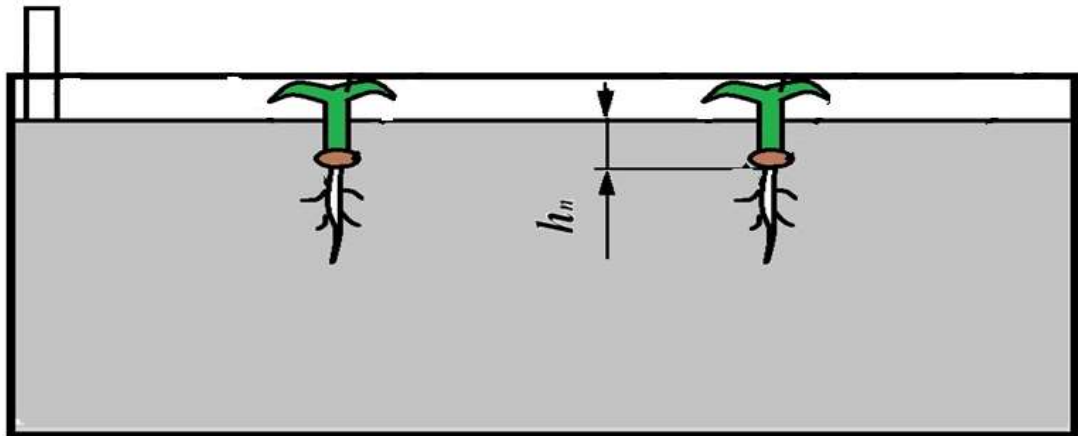


Рисунок 5 – Схема лабораторной установки

В ходе эксперимента, по исследованию развития корневой системы, лабораторную установку (рисунок 5) разделили почву на два участка и произвели посев семян арбуза сорта Триумф на одинаковую глубину (h_n), при появлении всходов, с правой мы имитировали работу полольной лапы с уплотнителем, то есть уплотнили почву учитывая ширину защитной зоны. Также была разработана методика определения тягового сопротивления (рисунок 6). Соответствие стандартам, описанным в ГОСТ 20915-2011 было доказано в процессе лабораторных испытаний экспериментальных лап культиватора, которые были установлены на секции культиватора модели КРН-4,2.



Рисунок 6- Исследования рабочих органов в лабораторных условиях

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» были приведены результаты исследований секции культиватора с установленными модернизированными полольными лапами, а также полевые исследования культиваторного МТА с модернизированными полольными лапами с уплотнителями.

При проведении полевых исследований влажности почвы после использования уплотнителя были взяты образцы почвы для измерения содержания влаги в процентах после обработки междурядья в зависимости от продолжительности дней при сравнении модернизированного рабочего органа и полольной лапы. Так на рисунке 7 мы видим как меняется влажность почвы в зоне движения уплотнителя шириной 3 см на глубине 8см.

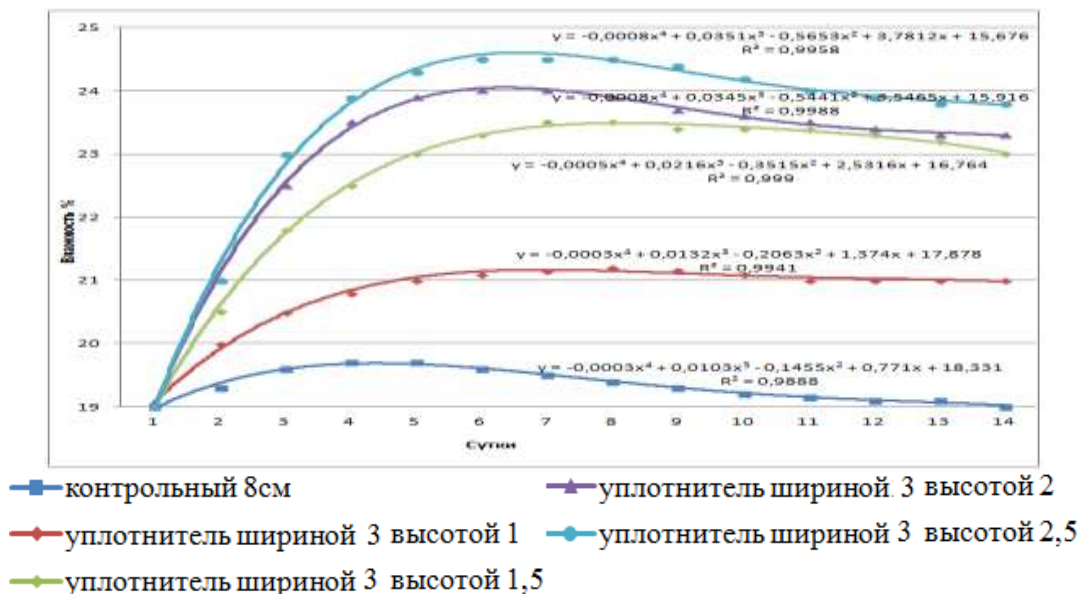


Рисунок 7- График изменения влажности при ширине уплотнителя 3см на глубине 8см

На рисунке 8 мы можем наблюдать сравнение плотности почвы после использования полольной лапы и модернизированной полольной лапы культиватора. Повышение плотности почвы на глубине от 7 до 9 см является следствием использования уплотнителя высотой 2 см.

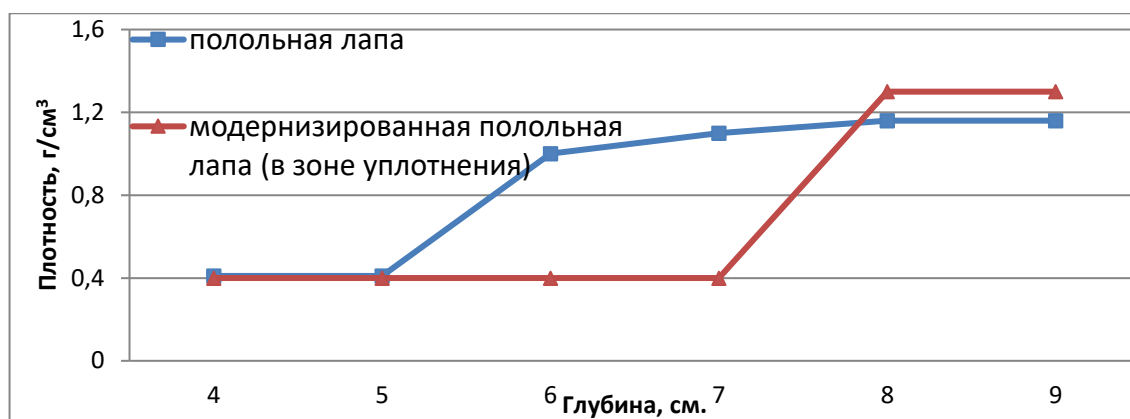


Рисунок 8 - График уплотнения почвы

При определении параметров уплотнителя мы учитывали свойства почвы и особенности развития растений. Так как угол трения светлокаштановых почв о сталь составляет $14-28^\circ$ то $\alpha < \varphi_{тр}$. Длина уплотняющего уплотнителя задается конструктивными особенностями лапы бритвы и принимается равной 6 см. Поэтому минимальную и максимальную высоты уплотнителя можно определить геометрически.

Так на рисунке 9 мы наблюдаем как действует на почву прямоугольное тело шириной 2 см, погруженное на глубину 3 см. Так линия 1 сместилась на 2 см, линия 2 сместилась на 1 см, а линия 3 на 0,5 см вниз, так же заметна и деформация почвы в стороны под углом в 45° . Все это дает нам понять, что основная зона уплотнения между линиями 2 и 3 и равна 1 см.



Рисунок 9 - Деформация почвы при погружении прямоугольного тела

Используя формулу $h = l \cdot \tan(\alpha_{уп})$ и учитывая углы $\alpha_{1упл} = 20^\circ$, $\alpha_{2упл} = 25^\circ$, определим значения высоты уплотнителя $h_{min} = 2,18$ см и $h_{max} = 2,8$ см. Так как боковые корни бахчевых культур формируются на глубине 2...3 см ниже уровня посева, то целесообразно принять высоту уплотнителя 2 см.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что угол носка, ширина и высота уплотнителя являются доминирующими параметрами, определяющими интенсивность уплотнения почвы.

В последующих исследованиях ставилась задача выявить оптимальные значения конструктивных параметров уплотнителя.

Для анализа области оптимальных размеров был разработан и реализован трехфакторный экспериментальный план по методологии Рехтшафнера. В результате расчетов получены уравнения регрессии в

кодированном виде:

$$U_{\Delta W} = 22,3 - 2,6x_2 + 0,7x_3 - 0,1x_1x_2 + 0,2x_1x_3 - 0,3x_2x_3 - 6,6x_1^2 - 4,1x_2^2 - 3,3x_3^2, \quad (32)$$

Для указанных выше факторов назначены уровни и интервалы варьирования (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Факторы	Уровни фактора			Интервал варьирования, ε
	0	–1	+1	
x_1 – высота уплотнителя ($h_{упл.}$), мм	20	15	25	5
x_2 – ширина уплотнителя ($b_{упл.}$), мм	32	24	40	8
x_3 – угол наклона носка ($\alpha_{уп.}$), град.	22,5	20	25	2,5

Результаты анализа двумерных сечений (рисунок 10) свидетельствуют о том, что для достижения максимального прироста влажности почвы в уплотненной зоне, целесообразно установить следующие оптимальные параметры факторов: $x_1 = -0,1 \dots 0,1$ (19,5...20,5 мм), $x_2 = -0,5 \dots -0,2$ (28...30,4 мм), $x_3 = 0 \dots 0,3$ (22,5...23,2 град.). При этом увеличение влажности почвы уплотненной зоны составит на 22,5 %.

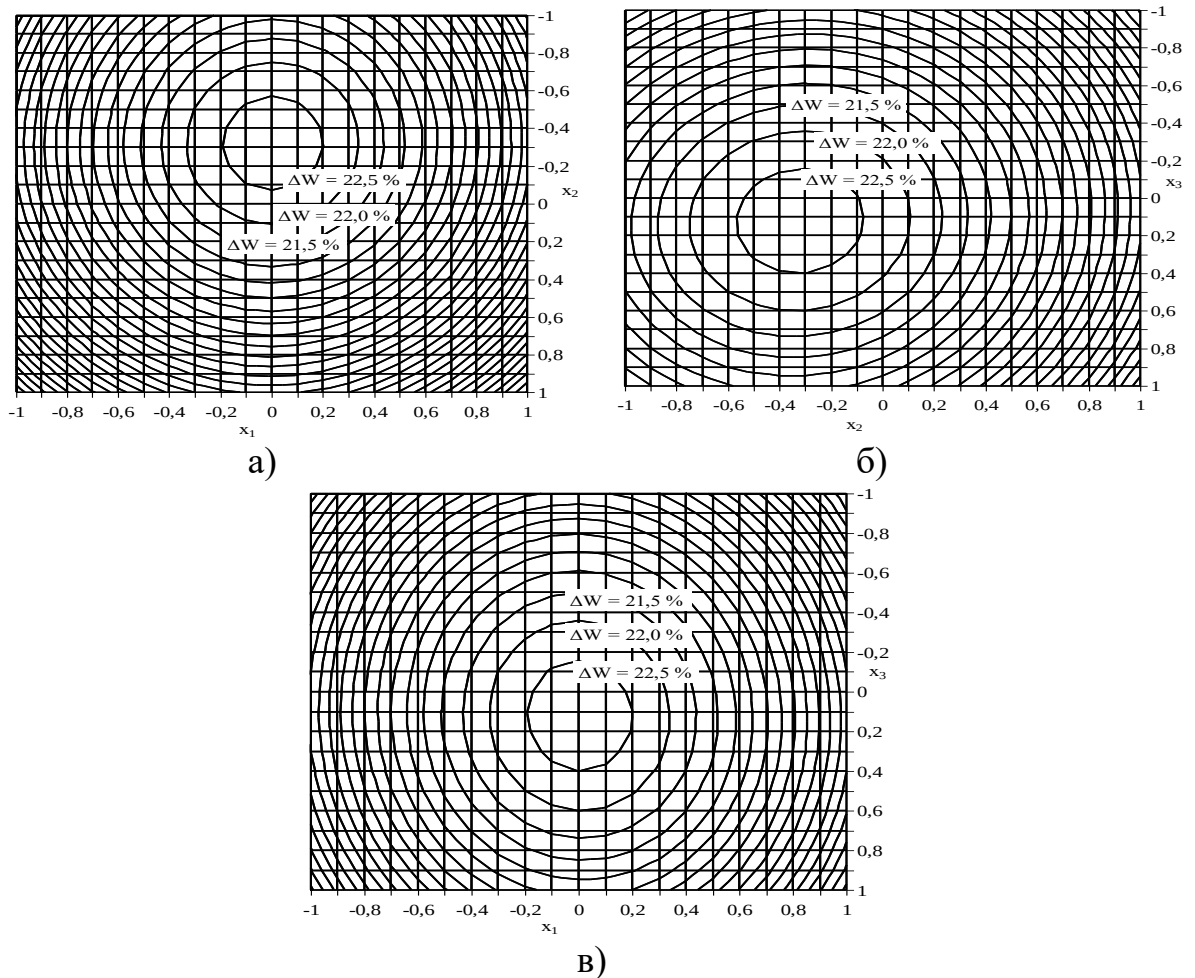


Рисунок 10 – Двумерные сечения для изучения влияния факторов: а) x_1 и x_2 при $x_3 = 0,13$; б) x_2 и x_3 при $x_1 = 0$; в) x_1 и x_3 при $x_2 = -0,32$ на увеличение влажности почвы уплотненной зоны, %

Используя методику исследования развития корневой системы, и лабораторную установку, описанную в главе 3 мы увидели, что после обработки всходов через несколько дней стала заметна разница развития растений (рисунке 11). Росток слева имел только один центральный корень, который уперся в дно лабораторной установки в поисках влаги. Растение справа напротив имеет коренастую форму, стебель более толстый, и корневая система начала рост не только вниз, но в бок, в последствии ускорив его развитие.



Рисунок 11 - Установка для исследования развития корневой системы

На рисунке 12(а) отчетливо просматривается развитие только основного корня. В то же время на рисунке 12(б) наблюдается активное развитие боковых корней в зоне уплотнения.

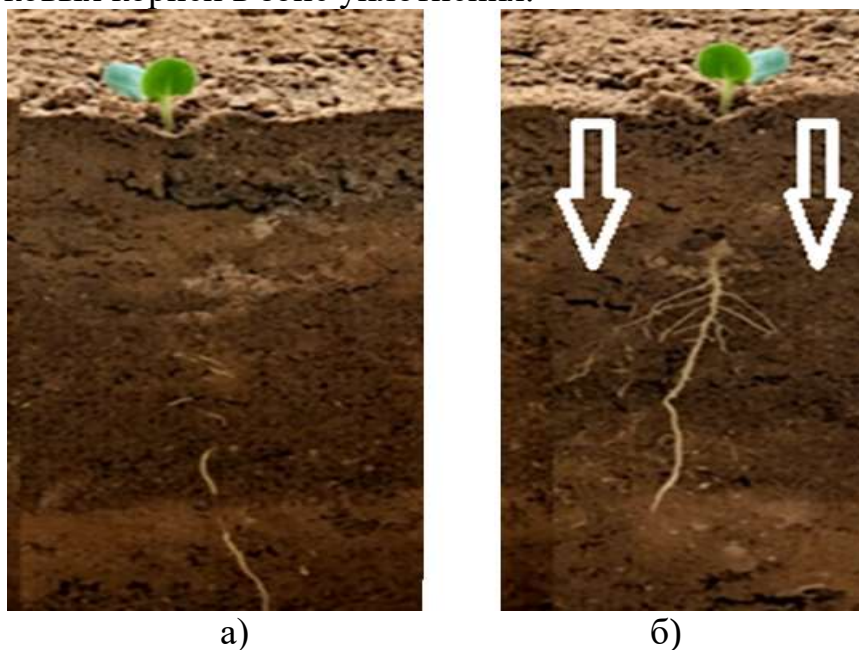


Рисунок 12 – Развитие корневой системы:

- а) развитие корня без уплотнения;
- б) развитие корня после уплотнения (стрелками показана зона уплотнения).

Кроме того, к моменту первой культивации длина стержневого корня достигает 10-20 см, а боковых 3-4 см в каждую сторону.

Учитывая усилия $R_{Gx} = 14,03\text{Н}$, $R_{yn} = 18.7\text{Н}$ ($\alpha_{lyn.} = 20^\circ$), $R_{yn} = 15.1\text{ Н}$ ($\alpha_{2yn.} = 25^\circ$) и $R_{Fx} = 5,89\text{Н}$ определение суммарного тягового усилия, необходимого для работы полольной лапы с уплотнителем, производится без учета сопротивления, вызванного деформацией почвенного слоя, т.к. размеры уплотнителя малы и усилие $R_{\partial x}$ невелико подставим все значения в формулу (33).

$$P_x = R_{yn} + R_{Gx} + R_{Fx} = 15.1 + 45.49 + 5.89 = 66.4\text{Н} \quad (33)$$

Исследования показали, что обработка междурядий модернизированной полольной лапой способствует увеличению длины плетей арбузов на 50-80 см по сравнению с контрольным участком, а также ускорению формирования плодов на 7-10 дней.

В главе 5 «Технико-экономическая эффективность применения рабочего органа культиватора» приведены расчеты сравнительной экономической эффективности результатов испытаний, из которых видно, что применение модернизированных полольных лап, не требует значительных материальных затрат и составляет 16720р. а срок окупаемости 0,9 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих технологий показал, что в современных методах междурядной обработки бахчевых культур имеется ряд недостатков, влияющие на эффективность культивации. Одной из основных проблем при междурядной обработке бахчевых культур, влияющей на развитие растений, является недостаточное количество влаги в прикорневом слое почвы.

2. Модернизированная конструкция рабочего органа: полольная лапа с вертикальной щекой и уплотнителем, которая позволяет подрезать сорняки и формировать капилляры в почве прикорневой зоны растения. Это способствует подъему влаги к корневой системе улучшая условия для роста растений, особенно в засушливых зонах.

3. Определены оптимальные параметры уплотнителя полольной лапы, обеспечивающие ее движение с уплотнением нижнего слоя почвы без ее сгуживания а именно: высота ($h_{упл.}$) - 2см., ширина ($b_{упл.}$) - 3 см., угол носка ($\alpha_{упл.}$)- 23 град. Ширина защитной зоны должна быть больше ширины зоны развития корней на 4-6 см.

4. Экспериментальные исследования показали, что модернизированная лапа культиватора позволяет повышать уровень влажности на 22.5 % в зоне развития корней.

5. Модернизация рабочих органов культиватора не требует значительных материальных затрат и составляет 16720р. а срок окупаемости 0,9 года, что делает внедрение новой технологии доступным и экономически оправданным.

Рекомендации производству

Сельскохозяйственным предприятиям, эксплуатирующим культиваторные МТА, и занимающиеся возделыванием бахчевых культур,

рекомендуется использовать модернизированные полольные лапы для получения более раннего урожая.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Необходимо провести исследования по определению конструктивных параметров уплотнителей на других типах почв.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

- статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Мартынов И.С., Шапров М.Н., **Бородин В.И.** Рабочий орган для междурядной обработки почвы. Сельский механизатор. 2022. № 10. С. 8.
2. Мартынов И.С., Шапров М.Н., Мисюряев В.Ю., **Бородин В.И.** Разработка и исследование рабочего органа для междурядной обработки бахчевых культур. Известия НВ АУК. 2023. №2(70). С. 534-542.
3. Совершенствование технологии междурядной обработки пропашных культур /**Бородин В.И.** и др. //Известия НВ АУК. 2025. №3(81). С. 557-567.
4. Мартынов И. С., Шапров М. Н., **Бородин В. И.** Обоснование конструктивных параметров полольных лап культиватора. Известия НВ АУК. 2025. 6(84). С. 573-582.
5. Мартынов И. С., Шапров М. Н., **Бородин В. И.**, Тронеv С.В. Оптимизация параметров полольной лапы пропашного культиватора. Известия НВ АУК. 2026. 1(85). С. 636-645.

- в патентах РФ:

6. Патент на полезную модель № 221726 U1 РФ, МПК А01В 35/00. Полольная лапа / И.С. Мартынов, М.Н. Шапров, **В.И. Бородин**, А.И. Мартынов, Е.Ю. Гузенко –2023119911; заявл. 27.07.2023; опубл. 21.11.2023, Бюл. №33.
7. Патент на полезную модель № 236740 U1 РФ, МПК А01В 35/20, А01В 39/20. Полольная лапа / И.С. Мартынов, М.Н. Шапров, **В.И. Бородин**, М.А. Садовников, А.И. Мартынов –2025108062; заявл. 31.03.2025; опубл. 19.08.2025, Бюл. №23.

-в прочих изданиях:

8. Шапров М.Н., Мартынов И.С., **Бородин В.И.**, Мартынов А.И. Механизированная технология междурядной обработки пропашных культур/ Материалы Национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием «Теория и практика современной аграрной науки» 27 февраля 2023г. Новосибирск, 2023. С. 548-551.
9. **Бородин В.И.** Технические средства для междурядной обработки пропашных культур/ Материалы XXVII региональной конференции

- молодых ученых и исследователей волгоградской области. Волгоградский государственный аграрный университет. Волгоград, 2023. С. 164-166.
10. **Бородин В.И.** Специфика междурядной обработки бахчевых культур // Материалы XXVIII региональной конференции молодых ученых и исследователей волгоградской области 25-27 октября 2023г. Волгоград, 2024. С. 196-199.
11. **Бородин В.И.** Рабочий орган культиватора для между рядной обработки бахчевых культур // Материалы международной научно-практической конференции «Научные исследования - основа современной инновационной системы» 01 мая 2024г. Sterlitamak. Уфа, 2024. С. 26-28.
12. **Бородин В.И.,** Мартынов А.И. Модернизация конструкции рабочих органов для междурядной обработки почвы // Материалы XIX Международной научно-практической конференции молодых исследователей, посвященной 80-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне «Наука и молодежь: новые идеи и решения». Волгоград, 2025. С. 19-21.
13. Шапров М.Н., Цепляев А.Н., Мартынов И.С., **Бородин В.И.** Анализ способов междурядной обработки пропашных культур / Материалы Национальной научно-практической конференции «Научное обоснование стратегии цифрового развития АПК и сельских территорий». Волгоград, 2025. С. 338-344.

Подписано в печать _____ Формат 60х84 1/16
Усл. печ. л. 1. Тираж 100. Заказ _____.
Издательско-полиграфический комплекс
ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ «Нива»
400002, Волгоград, Университетский пр-т, 26