

На правах рукописи



ДЗИЦЦОВЕВ АРКАДИЙ ПАВЛОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА
ДЛЯ СБОРА ЯГОД ЧЕРНИКИ В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск – Научоград РФ

2019

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация машинно-тракторного парка» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Горский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, почётный работник высшего образования РФ

Тавасиев Рамазан Мусаевич

Официальные оппоненты: **Цымбал Александр Андреевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий, профессор

Кадыкало Григорий Иванович, кандидат технических наук, ФГБНУ «Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства», сектор механизации трудоёмких процессов в садоводстве, заведующий Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства»

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится 12 декабря 2019 г. в 10-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545) 9-44-12, e-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ и на сайте университета: <http://www.mgau.ru>, а также на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования РФ: <http://www.vak.minobrnauki.gov.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан « » _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Н.В. Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Черника – мелкий кустарник семейства брусничных с эллиптическими опадающими листьями и зеленовато-розоватыми цветками. Плоды – шаровидные сине-черные ягоды с кисло-сладкой, вяжущей мякотью. Цветет в мае, плоды созревают в июле – сентябре. Распространена черника почти повсеместно в лесной зоне, преимущественно на севере и в средней полосе России. В горных лесах Кавказа встречается местный вид – черника кавказская на высоте 700-1500 м над уровнем моря. Черника – хороший медонос, собранный с нее красноватый мёд имеет очень приятный запах.

Ягоды черники содержат 5-6 % сахара, около 1 % кислот (лимонной, яблочной, молочной, хинной, янтарной), витамин С, дубильные (около 1,5 %), пектиновые (0,6 %) и красящие вещества, гликозид миртиллин. Черника занимает первое место среди всех ягод и фруктов по содержанию марганца, в ней много железа. Употребляют чернику в свежем и сушеном виде. Из ягод готовят экстракты, сок, сиропы, варенье, кисели, морс. В листьях растения содержатся дубильные вещества, органические кислоты (в том числе аскорбиновая), эфирное масло и гликозиды неомиртиллин, эриколин, арбутин. Листья и стебли растения используют для дубления и окраски кож в коричневый и желтый цвета.

Ягоды черники – отличный регулятор желудочно-кишечной деятельности. Кроме того, они оказывают благотворное влияние при катарах желудка (особенно с пониженной кислотностью желудочного сока) и кишечника. В народной медицине чернику употребляют при камнях в почках, подагре, ревматизме, малокровии, кожных и других болезнях. В последнее время учеными обнаружено, что экстракты черники содержат вещества, улучшающие остроту зрения. Поэтому их рекомендуют как профилактическое средство для лиц, работа которых сопряжена со значительным напряжением зрения, например, шоферов, машинистов, пилотов и т.д.

Ягоды черники собирают в период полного созревания, так как они легко мнутся, при сборе нужно соблюдать особую осторожность. Собирают ягоды в сухую погоду, после того, как сойдет роса. Сбор ягод черники – очень трудоемкий процесс.

В настоящее время для сбора черники созданы и применяются различные ручные инструменты, принципиально не отличающиеся друг от друга по своей конструкции. Все существующие инструменты выполнены в виде ковша, снабженного счесывающим элементом. Все они лишены механического привода и основаны на ручном труде сборщика ягод.

В связи с этим механизация процесса сбора ягод черники в горных условиях является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. В условиях горного произрастания черники технология сбора ягод более трудоемкая, чем на равнине, что связано с подъемами и уклонами местности, а также ее пересечениями. В этих условиях сбор ягод вручную с помощью ковша не только очень трудоемок, а часто и невозможен. Обоснованием и разработкой механизированной технологии и технических средств в садоводстве (ягодководстве) и связанных с ними вопросов занимались как отечественные, так и зарубежные авторы: Г.П. Варламов, Х.А. Хачатрян, М.Е. Демидко, Ю.А. Утков, А.И. Завражнов, И.М. Куликов, Б.Х. Кульчиев, В.Д. Забросаев, В.В. Бычков,

А.А. Цымбал, В.Д. Бартенев, Л.А. Шомахов, А.Б. Кудзаев, Р.Р. Ягубян, В.К. Полянин, Р.М. Тавасиев, В.Г. Бросалин, Ю.А. Шекихачев, Р.А. Балкаров, Г.И. Кадыкало, В.И. Горшенин, Б.В. Бахарев, А.В. Вишняков, Р. Фридли, Ж. Диаполу, Ж. Стефанелли и многие другие. Анализ их работ показал, что в них отсутствуют сведения о механизированном сборе ягод черники в горных условиях.

Работа выполнена в соответствии с планом НИОКР инновационного проекта по программе «СТАРТ» на тему «Исследование и разработка экспериментального образца механизированного устройства для сбора ягод» (гос. рег. №012001174672, г. Владикавказ, 2012 г.).

Цель исследования – повышение эффективности сбора ягод черники в горной местности путем совершенствования технологии и разработки механизированного устройства для ее осуществления.

Задачи исследования:

- разработать конструктивно-технологическую схему механизированного устройства для сбора ягод черники;
- исследовать физико-механические свойства и размерные показатели ветвей и ягод черники в горных условиях;
- обосновать теоретически и экспериментально параметры и режимы рабочего процесса устройства для сбора ягод черники;
- провести проверку работы устройства в производственных условиях в горной местности и дать сравнительную экономическую оценку.

Объект исследования: технологический процесс сбора ягод черники с использованием механизированного устройства.

Предмет исследования: установление закономерностей и параметров процесса механизированного сбора ягод черники.

Научная новизна диссертационного исследования. Разработана технологическая схема сбора ягод черники; определены физико-механические свойства и размерные показатели ветвей и ягод черники в горных условиях; механизированный процесс сбора ягод черники.

Техническая новизна устройства для сбора ягод подтверждена патентом РФ на полезную модель № 147570. Разработано устройство, совмещающее вращающиеся гребенки с неподвижным бункером (емкостью) для ягод, обеспечивающее качественный съем плодов черники.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработано механизированное устройство для сбора ягод черники в горных условиях и получены теоретические и экспериментальные зависимости по обоснованию его параметров и режима рабочего процесса. Результаты исследований являются основой для совершенствования технологии сбора ягод, а также расчета конструктивно-технологических параметров устройств для его осуществления. Практическую значимость имеют: уточненные значения физико-механических свойств и размерных показателей растений и ягод черники в горных условиях; предложенная автором конструкция устройства для механизированного сбора ягод черники и оптимальные значения его параметров и режима работы.

Методика исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием положений и законов классической механики, математики и матема-

тического моделирования. Предложенное устройство исследовалось в лабораторных и производственных условиях в соответствии с действующими ГОСТ, ОСТ и разработанными частными методиками. Результаты теоретических исследований подтверждены экспериментальной проверкой на физических моделях, лабораторных и опытно-производственных установках. Обработка результатов экспериментальных исследований осуществлялась на ПЭВМ с использованием пакетов программ Matlab, Excel.

Основные научные положения диссертации, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема механизированного устройства для сбора ягод черники;
- результаты исследования физико-механических свойств и размерных показателей растений и ягод черники в горных условиях;
- теоретически и экспериментально обоснованные параметры и режимы рабочего процесса устройства для сбора ягод черники;
- результаты проверки разработанного устройства для сбора ягод в производственных условиях, а также сравнительной экономической оценки технологий и технических средств.

Достоверность результатов подтверждается использованием современных методик и оборудования, достаточным количеством экспериментов, соответствием экспериментальных данных теоретическим результатам исследований, (сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований составила не менее 95%, погрешность опытов – не более 5%), публикацией результатов в ведущих журналах, одобрением докладов, представленных на конференциях различных уровней.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы представлены и одобрены на ежегодных научно-производственных конференциях ФГБОУ ВО «Горский ГАУ» (г. Владикавказ, 2012...2017 гг.), на VI Международной научно-практической конференции и выставке по проблеме «Устойчивое развитие горных территорий» (г. Владикавказ, 2016 г.); на НПК «Научно-практические основы ускорения импортозамещения продукции садоводство» (г. Мичуринск, 2017 г.), а также на расширенном заседании кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВО Горский ГАУ (г. Владикавказ, 2018 г.).

Реализация результатов исследования. Разработанное механизированное устройство для сбора ягод черники используется в индивидуальном порядке жителями пос. Мадзаска (Дигорское ущелье) Ирафского района Республики Северная Осетия – Алания. Основные положения и рекомендации диссертационного исследования приняты научно-производственным внедренческим предприятием «Наука», которое включило в план выпуска устройство для сбора ягод черники; республиканской ассоциацией крестьянских (фермерских) хозяйств Северной Осетии – Алания и используются для внедрения путем организации семинаров, выставок, ярмарок, широкой рекламы.

Публикации результатов исследования. По результатам диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ, в том числе 6 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, получен 1 патент РФ на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 7,74 п.л., из них автору принадлежит 3,64 п.л.

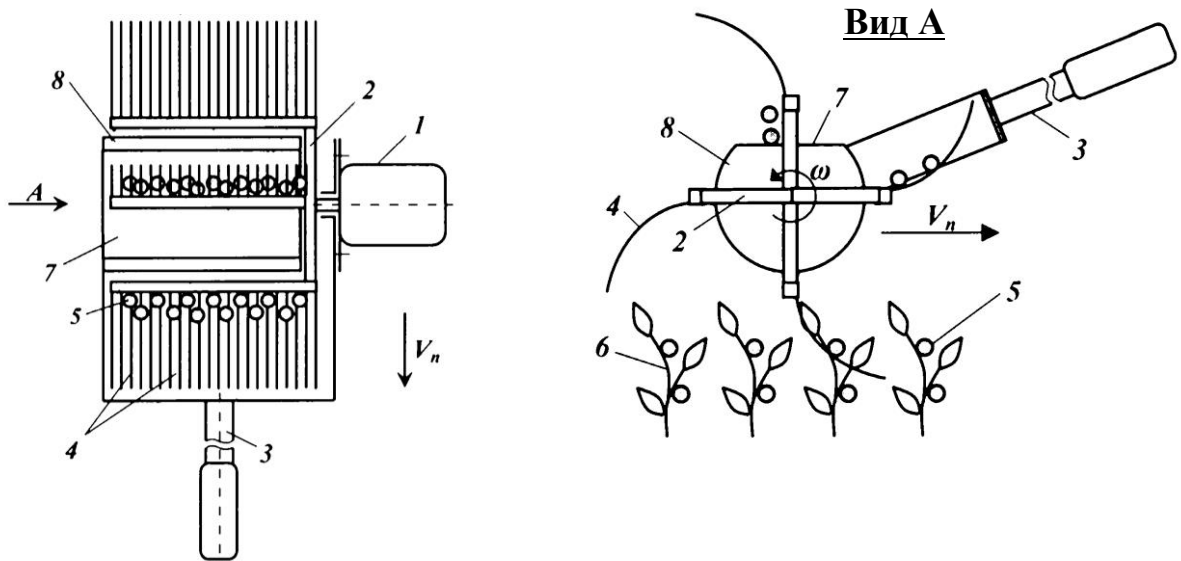
Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 124 наименований и 6 приложений. Работа

изложена на 147 страницах машинописного текста, содержит 21 таблицу и 41 рисунок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна диссертационного исследования, приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Современное состояние вопроса сбора ягод» приведен анализ способов и средств сбора ягод, обоснована необходимость применения механизированной технологии сбора ягод в горных условиях, предложена рациональная конструктивно-технологическая схема устройства для съема ягод черники (рисунок 1), сформулированы задачи исследования.



1 – мотор-редуктор; 2 – счесывающий барабан; 3 – штанга; 4 – счесывающий элемент; 5 – ягода; 6 – куст ягодника; 7 – люк бункера; 8 – бункер

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема устройства для сбора ягод:

Во второй главе «Исследование физико-механических свойств и размерных показателей растений и ягод черники» приведены условия и место проведения исследований, хозяйственная значимость кавказской черники, ареал ее распространения в РСО-Алания, а также размерные и физико-механические свойства растений и ягод черники.

Исследования проводились в Дигорском ущелье РСО-Алания, в окрестностях п. Мадзаска на высоте 1400-1500 м над уровнем моря.

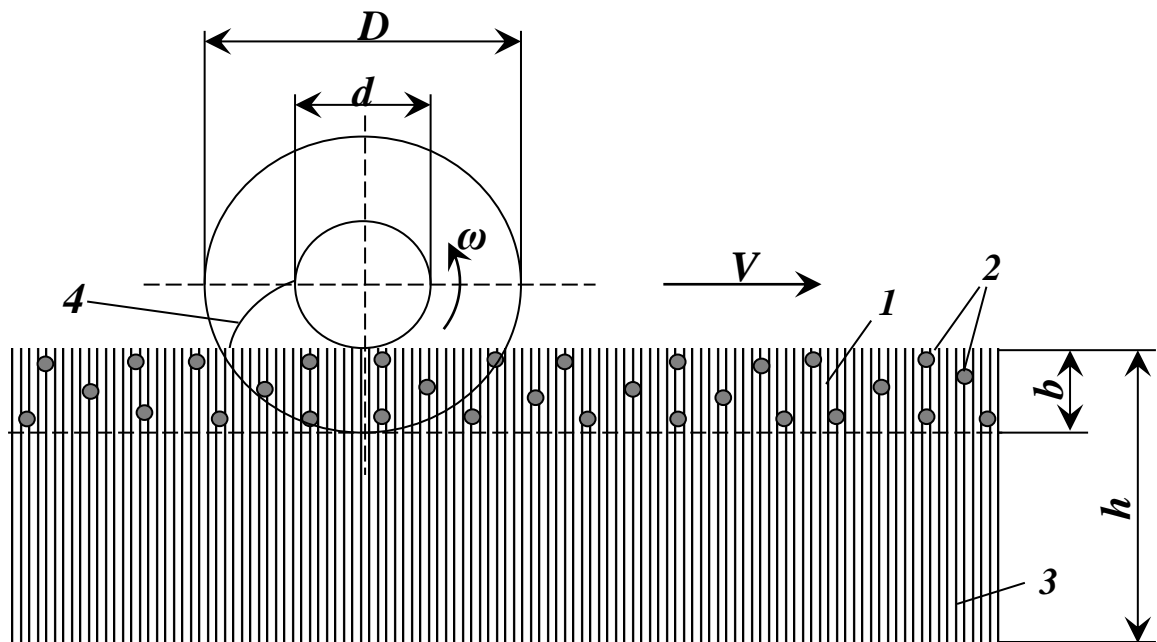
Средняя высота кустов черники составила 219 мм, максимальная его высота – 260 мм. Эти результаты были использованы при обосновании параметров штанги разрабатываемого устройства. Средняя толщина плодоносного слоя кустов – 62,6 мм, а максимальная толщина 110 мм, послужили основой для обоснования геометрических параметров счесывающего барабана разрабатываемого устройства. Определены также среднее и максимальное значения усилия отрыва листьев черники от ветвей, соответственно 1,05 Н и 1,42 Н, которые использованы при обосновании параметров привода и счесывающего барабана. Средний диаметр ягод составил 9,3 мм, а максимальный – 12 мм. Эти данные были использованы при обосновании геометрических параметров счесывающего барабана. Средняя высота ягод черники –

7,39 мм, а максимальная – 9,6 мм: они послужили основой для принятия кривизны счесывающих элементов разрабатываемого устройства. Установлены среднее и максимальные значения усилия отрыва ягод черники от ветвей, соответственно 0,85 Н и 1,21 Н: они использованы при обосновании параметров привода и счесывающего барабана. Определено усилие раздавливания ягоды, его среднее значение составило 1,56 Н.

Результаты данных исследований обрабатывались методами математической статистики и теории вероятностей с использованием программы Excel.

В третьей главе «Технология и теория процесса механизированного сбора ягод» технология сбора ягод механизированным устройством предусматривает съем плодов и их подачу в бункер (емкость), который органично является частью барабана устройства.

При обосновании геометрических параметров устройства для сбора ягод необходимо знать, как взаимодействуют его рабочие органы со стебельной массой черники. На рисунке 2 изображена схема взаимодействия счесывающего барабана устройства для сбора ягод со стебельной массой черники.



*1 – плодоносный слой; 2 – ягоды; 3 – стебельная масса;
4 – счесывающий элемент*

Рисунок 2 – Схема взаимодействия счесывающего барабана устройства для сбора ягод со стебельной массой черники:

Плодоносная часть 1 (слой b) с ягодами 2 и стебельная масса 3 образуют слой толщиной, равный h . Траектории концов счесывающих элементов 4 (показан один элемент) на рисунке обозначены окружностью диаметром D , а траектории оснований – окружностью диаметром d . Счесывающий барабан вращается против часовой стрелки с угловой скоростью ω , и одновременно перемещается по прямой слева направо с поступательной скоростью V . Геометрические параметры счесывающего барабана должны быть такими, чтобы выполнялось условие $D - d \geq b$. При этом счесывающие элементы целиком внедряются в плодоносный слой стебельной

массы. На рисунке 3 изображена расчетная схема для исследования кинематики счесывающего барабана устройства для сбора ягод.

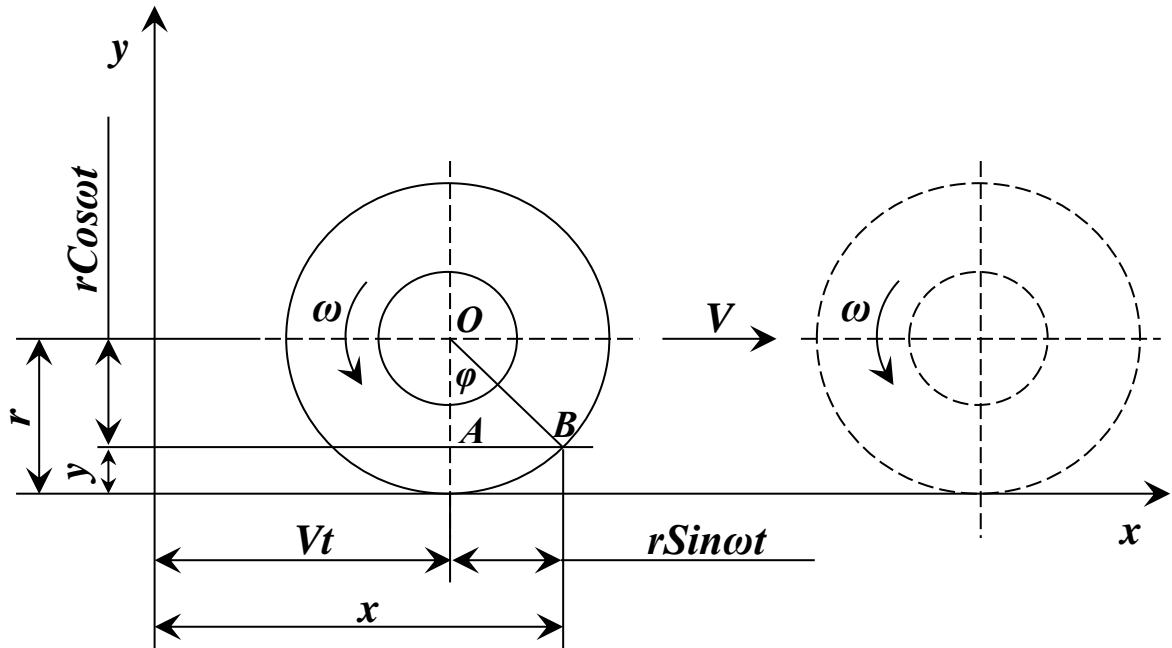


Рисунок 3 – Расчетная схема для исследования кинематики счесывающего барабана устройства для сбора ягод

Согласно рисункам 2 и 3 координаты точки **B** будут:

$$x = Vt + r \sin \omega t; \quad (1)$$

$$y = r - r \cos \omega t. \quad (2)$$

Они являются параметрическими уравнениями траектории движения точки, фиксированной на конце счесывающего элемента барабана, в данном случае точки **B**, а кривая, описываемая указанной точкой, является разновидностью циклоиды.

Проделав аналогичные расчеты, получены параметрические уравнения траектории движения и для условной точки, фиксированной на основании счесывающего элемента

$$x = Vt + (r - b) \sin \omega t; \quad (3)$$

$$y = r - (r - b) \cos \omega t. \quad (4)$$

Эти уравнения также представляют разновидность циклоиды.

Продифференцировав уравнения (1..4) получены параметрические уравнения скоростей

– для точек на конце счесывающего элемента

$$V_x = V + \omega r \cos \omega t; \quad (5)$$

$$V_y = \omega r \sin \omega t. \quad (6)$$

– для точек на основании счесывающего элемента

$$V_x = V + \omega(r - b) \cos \omega t; \quad (7)$$

$$V_y = \omega(r - b) \sin \omega t. \quad (8)$$

Параметрические уравнения ускорений характерных точек, полученные дифференцированием уравнений (5... 8):

– для точек на конце счесывающего элемента

$$a_x = -r\omega^2 \sin \omega t; \quad (9)$$

$$a_y = r\omega^2 \text{Cos}\omega t. \quad (10)$$

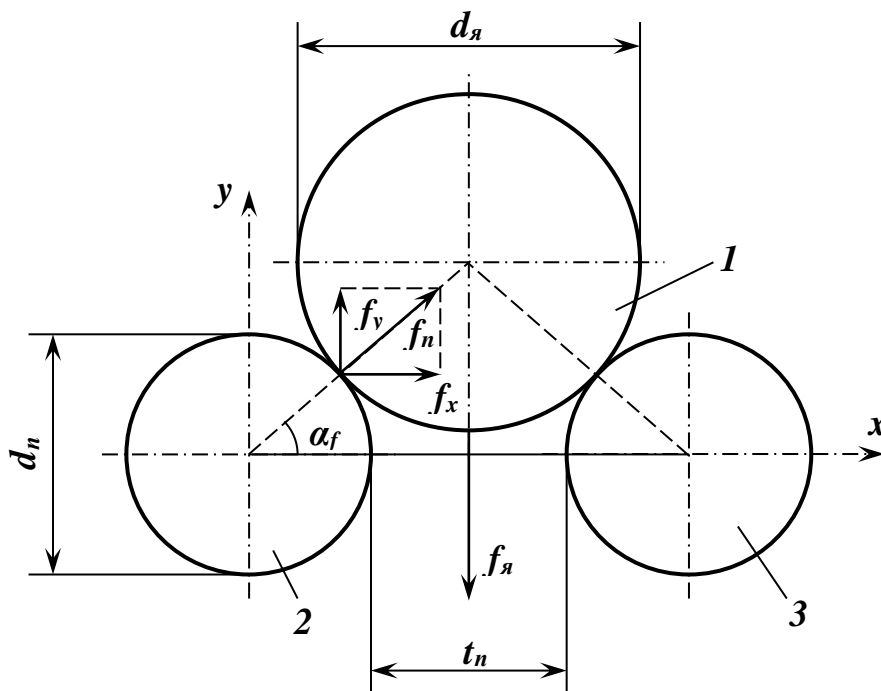
– для точек на основании счесывающего элемента

$$a_x = -\omega^2(r-b)\text{Sin}\omega t; \quad (11)$$

$$a_y = \omega^2(r-b)\text{Cos}\omega t. \quad (12)$$

От параметров прутка счесывающей гребенки устройства для сбора ягод зависит качество рабочего процесса, в том числе повреждаемость ягод при их съеме.

От зазора между прутками зависит сдавливающая сила – нормальная сила воздействия прутка на ягоду в момент отрыва ее от плодоножки. Для определения оптимальной величины межпруткового зазора составлена расчетная схема, которая изображена на рисунке 4.



1 – ягода; 2, 3 – прутки

Рисунок 4 – Расчетная схема к обоснованию оптимальной величины зазора между прутками счесывающей гребенки:

Из расчетной схемы нормальная сила, действующая со стороны прутка на ягоду, равна

$$f_n = \frac{0,5 f_{cp}}{\text{Cos}\alpha_f}, \text{ Н}, \quad (13)$$

где f_{cp} – средняя величина силы отрыва ягоды от плодоножки, Н;

α_f – угол между нормальной силой и осью x , град.

В данном случае при моделировании не учтены сила трения и упругость ягоды. Угол α_f определяется по формуле

$$\alpha_f = \text{arcSin}\left(\frac{d_n + t_n}{d_n + d_я}\right), \text{ град}, \quad (14)$$

где d_n – диаметр прутка, м;

t_n – межпрутковый зазор, м;

$d_{я}$ – диаметр ягоды, м.

Подставив значение α_f из (14) в формулу (13), получено

$$f_n = \frac{0,5 f_{cp}}{\cos \left[\arcsin \left(\frac{d_n + t_n}{d_n + d_{я}} \right) \right]} \cdot H. \quad (15)$$

После подстановки известных величин формула (15) примет вид

$$f_n = \frac{0,425}{\cos \left[\arcsin \left(\frac{3 + t_n}{10,5} \right) \right]} \cdot H. \quad (16)$$

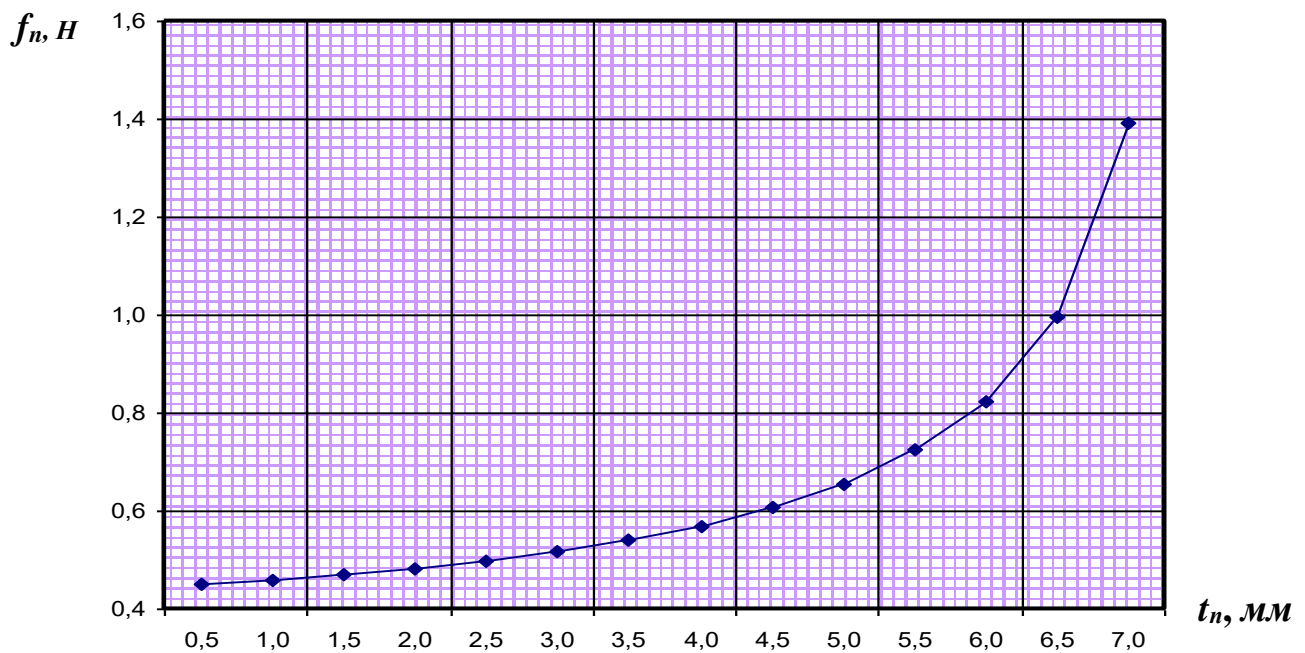
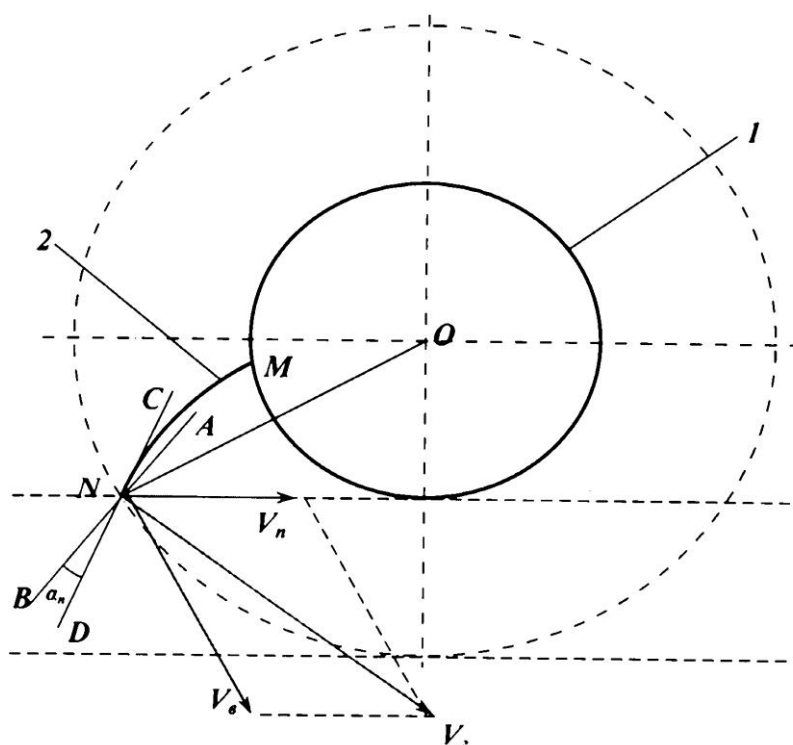


Рисунок 5 – График зависимости нормальной (сдавливающей) силы f_n , действующей на ягоду со стороны прутка, от межпруткового зазора t_n

На основании формулы (16) построен график зависимости нормальной (сдавливающей) силы f_n от межпруткового зазора t_n (рисунок 5). Из него следует, что с увеличением межпруткового зазора нормальная сила вначале умеренно увеличивается, а затем экспоненциально возрастает. Переход заметен в интервале $t_n=2,0 \dots 4,0$ мм. Для экспериментального образца разрабатываемого устройства принято $t_n = 3$ мм, при этом шаг прутков $z_n = d_n + t_n = 6$ мм.

На рисунке 6 изображена расчетная схема, на которой в масштабе построены векторы поступательного и вращательного скоростей V_n и V_v , а также их результирующая V_z . При вхождении вершины прутка в плодоносный слой, в зависимости от угла атаки, пруток может отклонять от себя растения в горизонтальном направлении, может захватывать их, а может и не воздействовать на них. Для большей полноты сбора ягод необходимо, чтобы при вхождении в плодоносный слой и при дальнейшем движении прутка безусловно захватывал растения.



Это требование выполняется, если соблюдается условие (рисунок 6) $\alpha_n > 0$, где α_n – угол между перпендикуляром AB к вектору V_n и касательной CD к вершине прутка MN .

Для экспериментального образца устройства из конструктивных соображений, принято $\alpha_n = 15^\circ$.

1 – барабан; 2 – пруток
Рисунок 6 – Расчетная схема к обоснованию формы счесывающего прутка устройства для

Форма прутка. Для того, чтобы ягоды удерживались на гребенках, прутки должны быть вогнуты в направлении вращения барабана. Для экспериментального образца устройства из конструктивных соображений радиус кривизны прутков принят равным $r_n = 100$ мм, число гребенок на барабане принято равным трем.

При определении высоты прутка исходили из необходимой прочности соединения прутка с барабаном. Действующий на пруток изгибающий момент должен быть

$$M_u \leq d^3 \cdot [\sigma_u], \text{ Нм}, \quad (17)$$

где d – диаметр прутка, м; $[\sigma_u]$ – допускаемое напряжение на изгиб, Па.

С другой стороны,

$$M_u = F \cdot h, \text{ Нм}, \quad (18)$$

где F – сила сопротивления, действующая на пруток со стороны растения, Н;

h – высота прутка, м.

Приняв допущение, что высота прутка равна его длине определим ее значение из выражений (17) и (18).

$$h \leq \frac{d^3 [\sigma_u]}{F}, \text{ м}. \quad (19)$$

Приняв: материал прутка – Сталь 65Г ГОСТ 19903-74, его диаметр $d = 3 \cdot 10^{-3}$ м, допустимое напряжение на изгиб $[\sigma_u] = 200$ МПа, сопротивление $F = (8-12) \cdot 10^{-2}$ Н (из поисковых исследований) высота прутка должна быть в пределах $h \leq 45 \dots 67,5$ мм.

Работоспособность и другие эксплуатационные свойства устройства для сбора ягод в большей степени зависят от его конструктивно-технологических параметров: скорости вращения рабочего органа (счесывающего барабана); поступательной скорости рабочего органа; угловой скорости барабана; ширины захвата устройства; размеров и объема бункера для ягод.

Рабочий процесс разрабатываемого устройства зависит в значительной степени от частоты вращения барабана и поступательной скорости самого устройства, так как из этих составляющих складывается абсолютная скорость счесывающих элементов – прутков. При увеличении скорости рабочего органа устройства, гребенки, повышается повреждаемость собираемых ягод, с другой стороны, при уменьшении скорости гребенки снижается производительность сбора ягод. Полагаясь на опыт и сноровку сборщика можно принять за основу рабочую скорость ручного ковша в качестве рациональной. Для обоснования оптимальных значений вертикальной и горизонтальной составляющих скорости гребенки разрабатываемого устройства была проведена видеосъемка процесса сбора ягод черники опытным сборщиком с помощью специального ручного ковша.

Анализ видеосъемки показал неравномерность горизонтальной и вертикальной составляющих скорости, что очевидно. Однако установлено, что максимальное значение горизонтальной составляющей гребенки ковша находится в пределах $0,09 \dots 0,21$ м/с, а вертикальной составляющей – $0,16 \dots 0,31$ м/с. Для дальнейших исследований приняты их средние значения $V_{xmax} = 0,15$ м/с, $V_{ymax} = 0,24$ м/с. В соответствии с этими параметрами для конца гребенки экспериментального образца устройства принято: линейная скорость конца гребенки при вращении $V_{\theta} = 0,24$ м/с; поступательная скорость $V_n = 0,15$ м/с.

От величины вертикальной составляющей скорости вращения гребенки зависит степень сжатия растительной массы в вертикальном направлении. С повышением степени сжатия растительной массы снижается качество работы устройства для сбора ягод. При неизменных величинах V_{θ} и V_n степень сжатия растительной массы зависит от радиуса бункера r_b .

Для обоснования оптимального значения радиуса бункера составлена расчетная схема, которая изображена на рисунке 7. Значения внутреннего диаметра счесывающего барабана и диаметра бункера можно приравнять, так как они отличаются только зазором между ними, величиной которого в расчетах можно пренебречь.

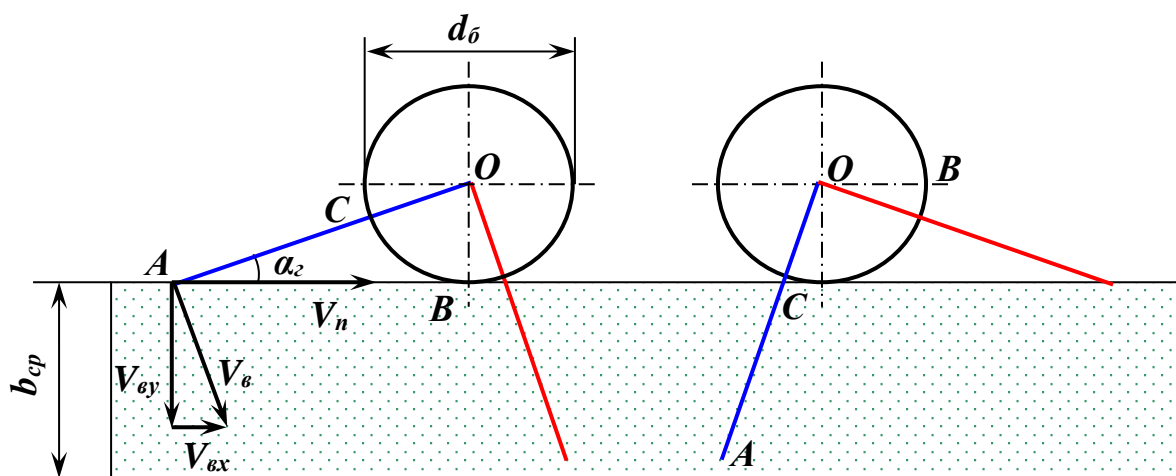


Рисунок 7 – Расчетная схема к обоснованию оптимального значения радиуса бункера

Таким образом, на расчетной схеме обозначены следующие параметры: радиус бункера $r_{\delta} = OC$; высота прутков $l_c = AC$; толщина плодоносного слоя растений b_{cp} ; угол вхождения прутка в растительную массу α ; поступательная скорость счесывающего барабана V_n ; линейная скорость конца гребенки V_{ϵ} и ее составляющие $V_{\epsilon x}$ и $V_{\epsilon y}$.

Прутки гребенки должны взаимодействовать только с плодоносным слоем растений, поэтому принимаем, что оптимальная высота их должна быть равна толщине плодоносного слоя, т.е. $l_c = b_{cp}$.

Из расчетной схемы (рисунок 7)

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + b_{cp}}\right), \text{ град.} \quad (20)$$

Вертикальная и горизонтальная составляющие скорости вершины гребенки, соответственно равны:

$$V_y = V_{\epsilon} \cos \alpha = V_{\epsilon} \cos\left[\arcsin\left(\frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + b_{cp}}\right)\right], \text{ м/с;} \quad (21)$$

$$V_x = V_{\epsilon} \sin \alpha + V_n = V_{\epsilon} \frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + b_{cp}} + V_n, \text{ м/с} \quad (22)$$

Отношение вертикальной составляющей скорости к горизонтальной составляющей (скоростной коэффициент) равен

$$k = \frac{V_y}{V_x} = \frac{V_{\epsilon} \cos\left[\arcsin\left(\frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + b_{cp}}\right)\right]}{V_{\epsilon} \frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + b_{cp}} + V_n}. \quad (23)$$

Коэффициент k косвенно характеризует величину вертикальной составляющей скорости вершины гребенки и степень сжатия растительной массы в вертикальном направлении. Подставив в формулу (23) значения известных величин V_{ϵ} , b_{cp} и V_n , получено следующее выражение

$$k = \frac{0,24 \cos\left[\arcsin\left(\frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + 0,06}\right)\right]}{0,24 \frac{r_{\delta}}{r_{\delta} + 0,06} + 0,15}. \quad (24)$$

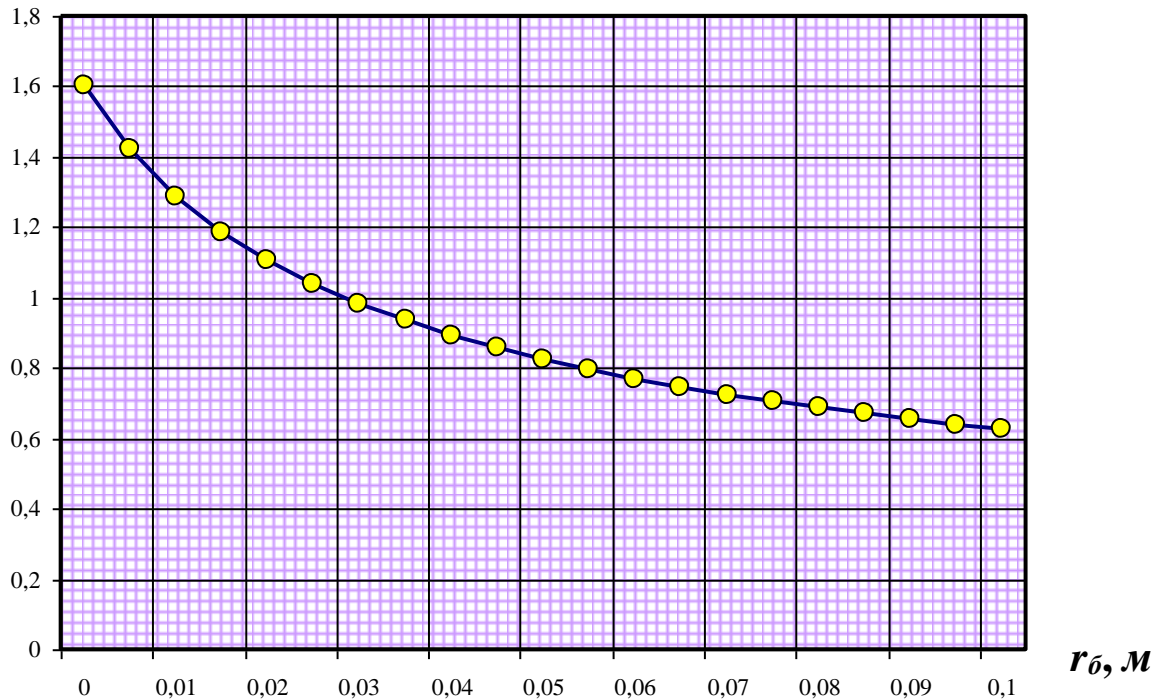


Рисунок 8 – График зависимости скоростного коэффициента k от радиуса барабана r_b

Оно (24) представляет собой зависимость коэффициента k от радиуса бункера r_b . На ее основании построен график, который изображен на рисунке 8, из него видно, что с увеличением радиуса бункера коэффициент k вначале экспоненциально уменьшается, а затем функция плавно приближается к линейной. Переход заметен в интервале $r_b = 0,05 \dots 0,07$ м. Дальнейшее увеличение радиуса бункера способствует уменьшению коэффициента k в меньшей степени, причем бункер при этом неоправданно увеличивается в диаметре, а с диаметром бункера связаны габаритные размеры всего устройства. В связи с этим решено, для экспериментального образца разрабатываемого устройства радиус бункера принять равным $r_b = 0,06$ м.

Угловая скорость барабана равна $\omega_b = V_b / r_b$. Тогда, с учетом принятых значений V_b и r_b угловая скорость барабана $\omega_b = 3,4 \dots 4,7$ рад/с.

Ширину захвата устройства и ширину бункера приравняем между собой $b_b = B$, что связано с конструктивной необходимостью. С шириной захвата устройства прямо пропорционально связана его производительность, однако с его увеличением повышается и потребная мощность привода, что приводит к увеличению массы устройства. Оптимальная ширина захвата может быть уточнена в результате полевых исследований, а для экспериментального образца она принята по аналогии с ручным ковшом $B = 120$ мм.

Параметры бункера. На рисунке 9 изображена схема бункера, из которой видно, что с увеличением угла β увеличивается длина продольной стороны люка a_b . Длина другой стороны b_b неизменна, поэтому возрастет и площадь люка $S_{л}$. Чем больше люк, тем больше вероятность попадания в него ягод, скатывающихся с гребенок. Однако, увеличение размеров люка приводит к уменьшению объема бункера.

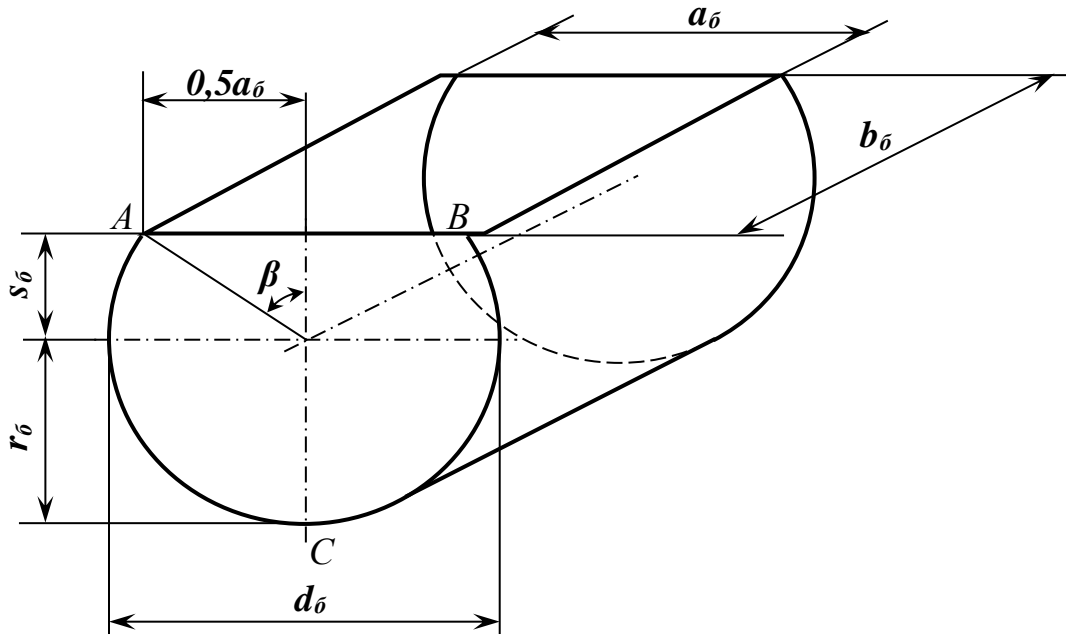


Рисунок 9 – Схема бункера

Согласно схеме (рисунок 9)

$$\sin \beta = \frac{0,5a_0}{r_0}, \quad \text{где} \quad 0 < \beta < \frac{\pi}{2}. \quad (25)$$

Откуда

$$a_0 = \frac{r_0 \sin \beta}{0,5}, \quad \text{м} \quad (26)$$

Учитывая выражение (26), площадь люка равна

$$s_{\text{л}} = a_0 b_0 = \frac{b_0 r_0 \sin \beta}{0,5}, \quad \text{м}^2 \quad (27)$$

После подстановки рациональных значений b_0 и r_0 последнее равенство принимает вид

$$s_{\text{л}} = 0,0144 \sin \beta. \quad (28)$$

Объем бункера определяется произведением площади сегмента ABC и ширины бункера b_0 . Однако, характер зависимости объема бункера от угла β можно анализировать по зависимости площади сегмента ABC от того же угла. Из расчетной схемы (рисунок 9) площадь сегмента ABC равна

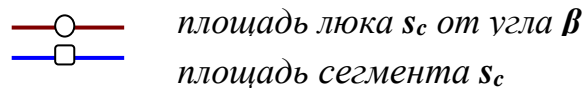
$$s_c = \pi r_0^2 - \frac{r_0^2}{2} (2\beta - \sin 2\beta), \quad \text{м}^2 \quad (29)$$

После подстановки известных величин равенство (29) принимает вид

$$s_c = 0,0113 - 0,0018(2\beta - \sin 2\beta), \quad \text{м}^2 \quad (30)$$



Рисунок 10 – Графики зависимости площадей люка s_l и сегмента s_c от угла β :



Согласно полученным уравнениям построены совмещенные графики (рисунок 10) зависимости площади люка s_l и площади сегмента ABC s_c от угла β , из которых видно, что при изменении угла β от 0° до 90° площадь люка вначале резко возрастает, затем интенсивность возрастания снижается. При этом площадь сегмента (а значит и объема бункера) вначале не меняется, а затем плавно переходит в снижение. Графики пересекаются в точке, которая соответствует значению угла $\beta = 45^\circ$. Это значение угла β принято за оптимальное с точки зрения «компромисса» между двумя противоречивыми величинами – объемом бункера и площадью люка. С учетом принятого угла β вычислен оптимальный продольный размер люка $a_b = 0,085$ м.

Потребная мощность привода устройства. Энергетический баланс рабочего процесса сбора ягод можно определить по формуле (рисунок 11)

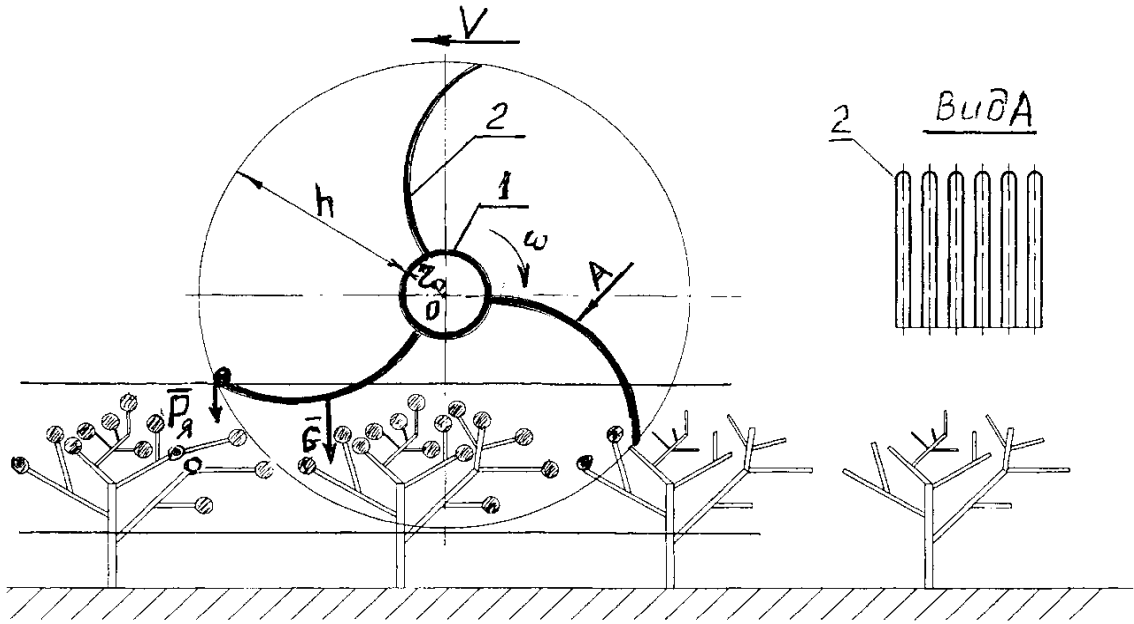
$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \quad \text{Вт}, \quad (31)$$

где N – мощность, затрачиваемая на выполнение рабочего процесса, Вт; N_1 – мощность, затрачиваемая на отрыв ягод от стеблей, Вт; N_2 – мощность, затрачиваемая на отрыв листьев от стеблей, Вт; N_3 – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления стебельной массы, Вт; N_4 – мощность, затрачиваемая на перемещение ягод к бункеру, Вт.

Мощность, развиваемая на барабане устройства, в первую очередь, зависит от усилий отрыва ягод и листьев, и она должна быть:

$$N_1 + N_2 = (mP_1 + kP_2) \cdot \lim_{r_0} [R_i]^{(h+r_0)} \cdot \omega, \quad \text{Вт}, \quad (32)$$

где P_1, P_2 – усилия отрыва ягод и листьев от стеблей, Н; m, k – число оторванных ягод и листьев от стеблей; ω – угловая скорость вращения счесывающих гребенок, рад/с; R_i – радиус вращения гребенок, м.



1 – барабан; 2 – гребенка (пруток)

Рисунок 11 – Схема к определению потребной мощности привода устройства

Учитывая, что $\omega = \frac{\pi n}{30}$, где n – число оборотов счесывающего барабана (об/мин), а радиус $R_{max} = h + r_0$, где h – высота гребенки (прутка), r_0 – радиус основания счесывающего барабана, формула (32) преобразуется

$$N_1 + N_2 = (mP_1 + kP_2) \cdot \frac{\pi n}{30} \lim [R_i]_{r_0}^{(h+r_0)}, \text{ Вт.} \quad (33)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления стебельной массы:

$$N_3 = F_{mp} \lim [R_i]_{r_0}^{(h+r_0)} \cdot \omega, \text{ Вт,} \quad (34)$$

где F_{mp} – сила трения счесывающих гребенок о стебельную массу, Н.

$$F_{mp} = f \cdot P_2, \text{ Н,} \quad (35)$$

где f – коэффициент трения стебельной массы о гребенки счесывающего барабана.

Мощность, затрачиваемая на перемещение ягод к бункеру

$$N_4 = (m \cdot P_я + c \cdot G) \cdot \lim [R_i]_{r_0}^{(h+r_0)} \cdot \omega, \text{ Вт} \quad (36)$$

где $P_я$ – вес ягод находящихся на одной гребенке, Н; ($P_я = m \cdot G_я$, $G_я$ – вес одной ягоды); G – вес одной гребенки, Н; c – число гребенок.

С учетом формул (32), (34) и (36) формула (31) преобразуется

$$N = \frac{\pi n}{30} \lim [R_i]_{r_0}^{(h+r_0)} [m \cdot P_1 + (k + f) P_2 + mP_2 + c \cdot G], \text{ Вт.} \quad (37)$$

При расчете потребной мощности устройства приняли следующие допущения: за каждый оборот барабана счесывающие гребенки (прутки) отрывают ягоды в один полный ряд, а также листья по числу прутков; ягоды и листья отрываются на максимальном удалении от центра вращения барабана, то есть $\lim [R_i] = h + r_0$, так как

при этом требуется максимальный крутящий момент. Исходными данными для расчета были приняты следующие величины, которые являются предельно (максимально) возможными: число оборотов счесывающего барабана $n = 60$ об/мин; радиус основания барабана $h_o = 0,06$ м; высота прутка $h = 0,06$ м; число рабочих зазоров прутков $m = k = 5$; усилие отрыва ягод $P_1 = 1,21$ Н; усилие отрыва листьев $P_2 = 1,42$ Н; коэффициент трения стебельной массы о прутки счесывающего барабана $f = 0,2$; вес одной ягоды $G_{я} = 7,5 \cdot 10^{-3}$ Н; число гребенок $c = 3$; вес одной гребенки $G = 36 \cdot 10^{-2}$ Н.

Потребная мощность на привод устройства составит

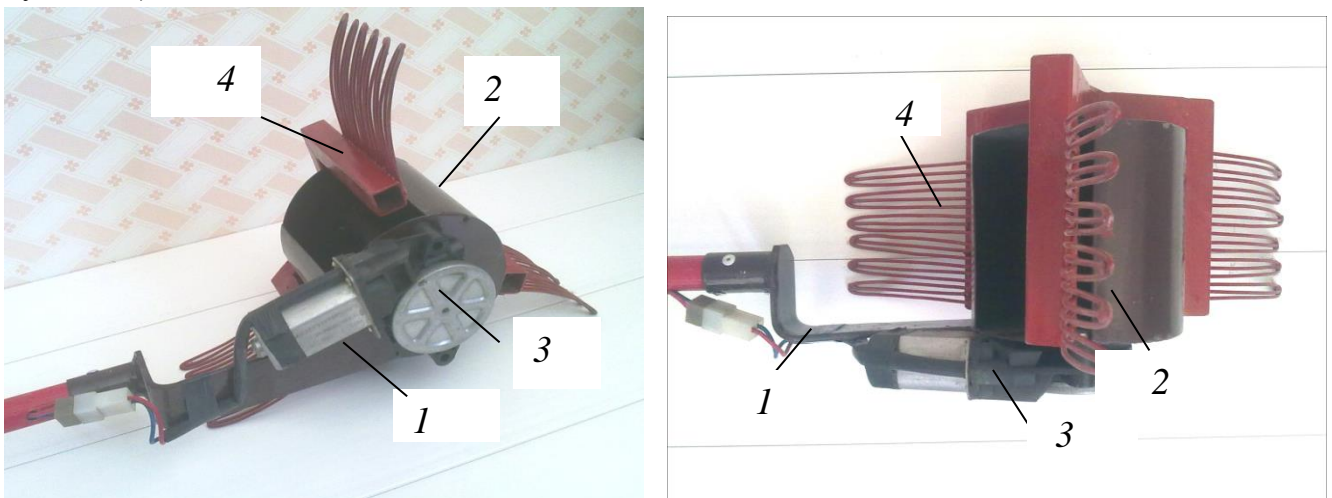
$$N_n = \frac{N}{\eta_э \cdot \eta_m}, \text{ Вт}, \quad (38)$$

где $\eta_э$ – КПД электродвигателя постоянного тока малой мощности, ($\eta_э = 0,4 - 0,6$); η_m – КПД червячного редуктора ($\eta_m = 0,95$). Тогда, согласно (38) $N_n = 1,75$ Н.

В результате расчета определили потребную мощность на привод устройства, обеспечивающую его рабочий процесс $N_n = 23,1$ Вт.

В структуре затрат мощности на рабочий процесс около 90% занимают затраты мощности на отрыв ягод и листьев, менее 10% мощности тратится на преодоление сопротивления движению счесывающего барабана в плодоносном слое растений. Следует также отметить, что из-за низкого коэффициента полезного действия коллекторных двигателей постоянного тока малой мощности ($\eta_э = 0,4 - 0,6$) потери мощности на привод устройства существенно высоки, около 50%. В связи с этим, для снижения энергоемкости процесса следует подбирать экономичный электродвигатель постоянного тока малой мощности, например, с магнитами повышенной напряженности.

В четвертой главе «Исследование рабочего процесса устройства и оптимизация его параметров» с учетом результатов теоретических исследований, полученных данных физико-механических свойств и размеров растений и ягод черники, а также принятой конструктивно-технологической схемы устройства для сбора ягод изготовлены и исследованы его лабораторный и экспериментальный образцы (рисунок 12).



а

б

1 – корпус; 2 – бункер; 3 – мотор-редуктор; 4 – счесывающий барабан

Рисунок 12 – Рабочий орган устройства для сбора ягод: общий вид (а), вид сверху (б)

Оптимизация основных параметров устройства проводилась по известной методике многофакторного эксперимента (трехуровневой план Бокса-Бенкена).

Основными показателями работы устройства для сбора ягод являются производительность, и повреждаемость ягод. Производительность устройства может быть повышена за счет увеличения ширины захвата и повышения мощности привода на этапе совершенствования изделия, поэтому в качестве критерия оптимизации выбрана повреждаемость ягод Q , выраженная в %. В качестве факторов, влияющих на повреждаемость ягод приняты диаметр прутков d_n , межпрутковый зазор t_n и угловая скорость вращения барабана ω_b .

На основании результатов предварительных экспериментов были выбраны уровни и интервалы варьирования факторов, которые приведены в таблице 1.

На основании расчетов получено уравнение регрессии в кодированном виде, описывающее зависимость повреждаемости ягод от диаметра прутков, межпруткового зазора и угловой скорости вращения барабана устройства

$$Y = 3,51 - 0,45x_1 - 0,05x_2 + 0,33x_3 + 0,3x_1^2 + 0,86x_2^2 + 0,73x_3^2 + 0,23x_1x_2 - 0,25x_1x_3 + 1,34x_2x_3. \quad (39)$$

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Тип плана	Уровни факторов в кодированном виде	Факторы в именованном виде		
		Диаметр прутков d_n , мм x_1	Межпрутковый зазор, мм t_n , x_2	Угловая скорость вращения барабана ω_b , рад/с, x_3
Трехуровневый план Бокса-Бенкена для трех факторов	+1	2,2	3,7	7,85
	0	1,9	2,9	6,28
	-1	1,6	2,1	4,71
Интервалы варьирования		0,3	0,8	1,57

На основании (39) построены двумерные сечения поверхности отклика (рисунок 13, а, б), проанализировав которые сделан вывод, что оптимальные значения рассматриваемых параметров можно принять в пределах: диаметр прутка – 1,92 ... 2,16 мм; зазор между прутками – 2,68 ... 3,60 мм, угловая скорость вращения барабана – 5,22... 6,19 рад/с. При этом повреждаемость ягод минимальна – 3,3%.

Для проверки работоспособности разработанного устройства был изготовлен его экспериментальный образец (рисунок 14). Его испытания проводились в реальных условиях на разных склонах до 35° в сравнении с существующим ручным устройством-ковшом. Были зафиксированы: производительность при механизированном сборе – 5,06 кг/ч, а при ручном – 3 кг/ч; повреждаемость ягод, соответственно 2,8 и 3%. Полученные данные послужили исходными для экономической оценки результатов исследования.

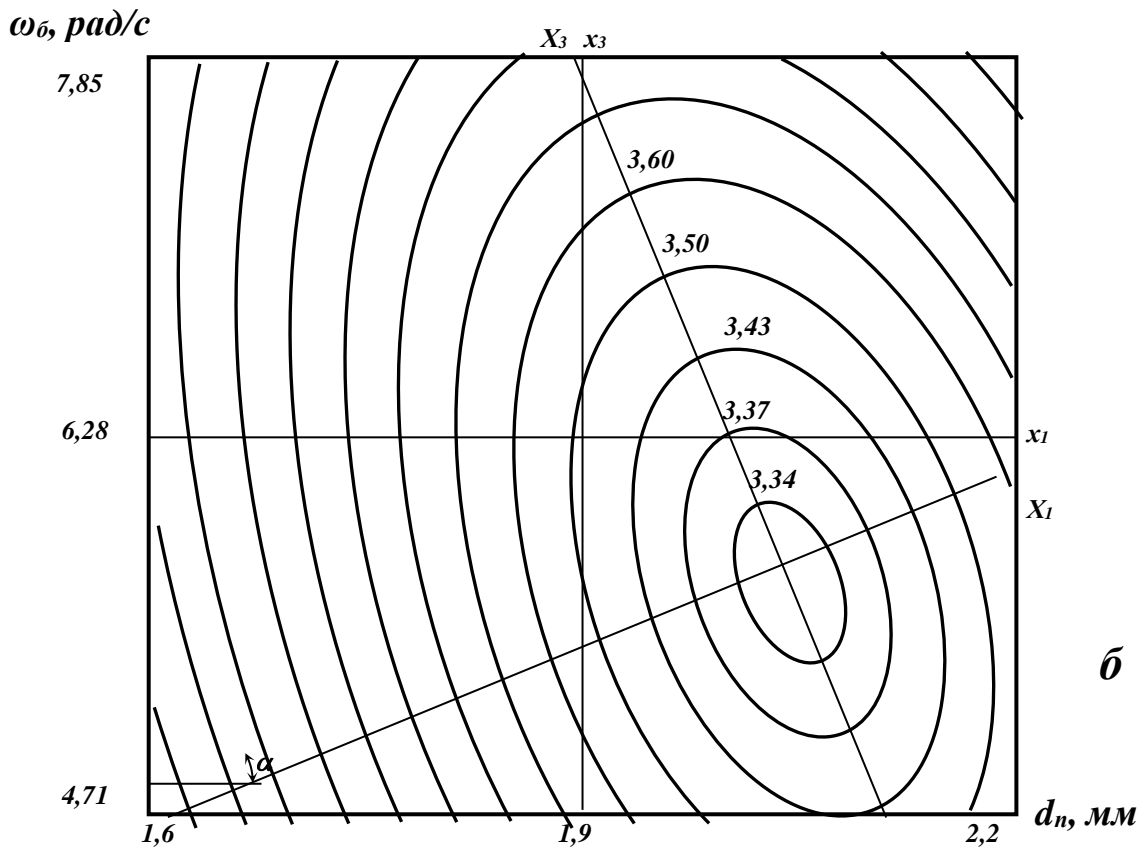
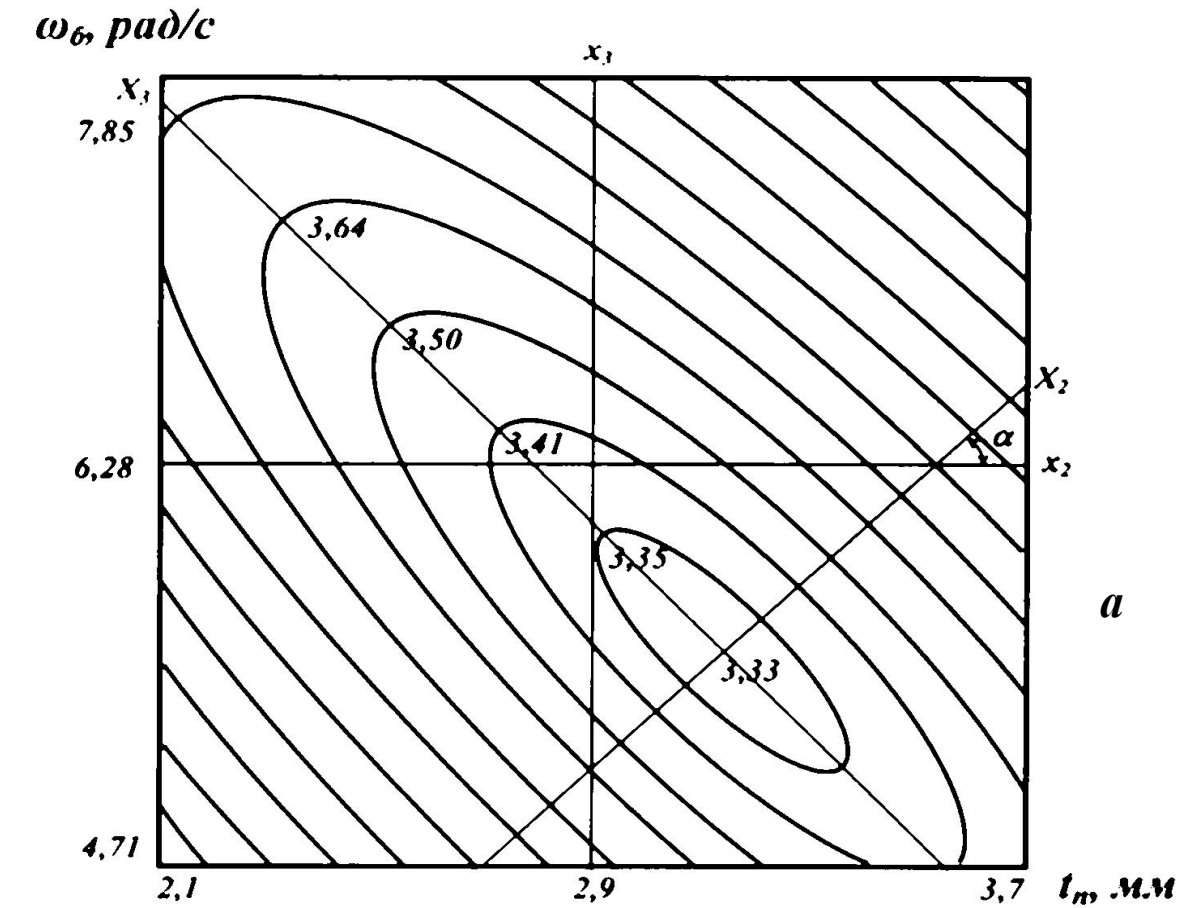


Рисунок 13— Зависимость повреждаемости ягод от угловой скорости вращения барабана ω_6 и межпруткового зазора t_n (а), диаметра прутков d_n и угловой скорости вращения барабана ω_6 (б)



а

б

а – общий вид устройства в работе; б – рабочий орган устройства
 Рисунок 14 – Экспериментальный образец устройства

В пятой главе «Экономическая оценка результатов исследования» приведены результаты технико-экономической оценки разработанного устройства для сбора ягод черники, полученные путем сравнения затрат по базовой (ручной) и новой (механизированной) технологиям. Они показали, что наблюдается существенное снижение себестоимости работ на 40,4% трудоемкости – на 66,5%. Годовой экономический эффект от использования устройства по новой технологии составит 53,96 тыс. рублей, капитализированная стоимость устройства для сбора ягод – 169,2 тыс. руб., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений 0,063 года (сезона) или 25,2 часа чистой работы.

Следует заметить, что экономические результаты получены в сравнении с ручным ковшом-комбайном, при этом если учесть, что в реальных условиях сбор ягод в горных условиях осуществляется вручную, без всяких приспособлений, то можно ожидать и более высоких экономических показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ современных технологий и средств сбора ягод черники показал, что данная операция повсеместно выполняется вручную. Все существующие технические средства для сбора ягод черники выполнены в виде ковша, снабженного счесывающим элементом, и они лишены механического привода, что существенно ограничивает производительность труда. Особую актуальность приобретает сбор ягод черники в горных условиях с использованием механизированного устройства.

2. Обоснована конструктивно-технологическая схема устройства для осуществления механизированной технологии сбора ягод черники в горных условиях. Привод устройства электрический, от аккумуляторной батареи, напряжением 12В. Устройство позволяет проводить съем ягод на пересеченной местности с уклоном до 35°.

3. Исследованы размерные показатели ветвей и ягод черники, а также их физико-механические свойства в горных условиях: высота кустов – 170...260 мм; толщина плодоносного слоя – 25...110 мм; усилие отрыва листьев – 0,52...1,42 Н; диаметр ягод – 6,7...12 мм; высота ягод – 5,4...9,6 мм; усилие отрыва ягод от ветвей – 0,41...1,21 Н. Установлены распространение, занимаемые площади (более 1000 га) и урожайность (до 800 кг/га) черники кавказской в РСО-Алания.

4. Кинематическое исследование механизма устройства для съема и подачи ягод в собственный бункер позволило определить параметрические уравнения траектории движения, скоростей и ускорений характерных точек счесывающего барабана. Установлены рациональные значения параметров бункера и барабана: радиус – 0,06 м; высота – 0,085 м, длина – 0,12 м; диаметр прутка счесывающего барабана – 3 мм; межпрутковый зазор – 3 мм; высота прутков – 0,06 м; угловая скорость вращения барабана – 3,4...4,7 рад/с; поступательная скорость устройств – до 0,15 м/с; потребная мощность на привод устройства – не менее 23,1 Вт.

5. Моделирование рабочего процесса устройства для сбора ягод черники в полевых условиях с использованием методики многофакторного эксперимента позволило установить его оптимальные параметры и режим работы: угловая скорость вращения барабана – 5,22...6,19 рад/с; диаметр прутка счесывающего барабана – 1,92...2,16 мм; зазоры между прутками – 2,68...3,60 мм. При этих параметрах повреждаемость ягод минимальна – 3,3%.

6. Проверочные испытания устройства в производственных условиях подтвердили его работоспособность, эргономичность, уточнили скорость вращения барабана (50 об/мин вместо 60 об/мин), а также его производительность – 5,06 кг/ч. Повреждаемость ягод составила 2,8% (при моделировании – 3,3%), а засоренность собранного урожая – 2,2%, ее отклонение в сравнении с ручным сбором составило $\pm 0,2\%$.

7. Результаты технико-экономической оценки разработанного устройства для сбора ягод черники, полученные путем сравнения затрат по базовой (ручной) и новой (механизированной) технологиям, показали, что наблюдается существенное снижение себестоимости работ на 40,4%, трудоемкости – на 66,5%. Годовой экономический эффект составил 53,96 тыс. рублей, капитализированная стоимость устройства для сбора ягод – 169,23 тыс. руб., срок окупаемости дополнительных капитальных вложений – 0,063 года (сезона) или 25,2 часа чистой работы.

8. Следует отметить также и то обстоятельство, что экономические результаты получены в сравнении с ручным ковшом – комбайном, а если учесть то, что в реальных условиях сбора ягод в горных условиях осуществляется вручную без всяких приспособлений, то можно ожидать и более высоких экономических показателей.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Предлагаем изготовить устройство для сбора ягод черники со следующими параметрами:

1. Тип устройства	ручной с электроприводом
2. Напряжение питания привода	12 В
3. Емкость аккумуляторной батареи (на день работы)	7 А.ч.
4. Потребная мощность привода	25 Вт
5. Обороты выходного вала мотор-редуктора привода барабана	45...75 об/мин
6. Ширина захвата	0,12 м
7. Габаритные размеры:	
- длина (с штангой)	1,2...1,7 м
- ширина	0,16 м
- высота (рабочего органа без штанги)	0,24 м
8. Масса (без источника питания)	1,35 кг

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Дзицкоев, А.П. Обоснование конструктивно-технологической схемы устройства для сбора ягод / А.П. Дзицкоев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т.50. – Ч. 3. – С.164-168.
2. Дзицкоев, А.П. Кинематическое исследование механизма устройства для съема и подачи ягод в емкость / А.П. Дзицкоев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т.50. – Ч. 3. – С.168-171.
3. Дзицкоев, А.П. Исследовательские испытания устройства для сбора ягод / А.П. Дзицкоев, Г.С. Биченов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т.50. – Ч. 4. – С.146-151.
4. Дзицкоев, А.П. Оптимизация параметров лабораторного образца устройства для сбора ягод черники / А.П. Дзицкоев, Б.В. Лазаров // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т.50. – Ч. 4. – С.151-155.
5. Дзицкоев, А.П. Определение некоторых размерных показателей и физико-механических свойств ягод черники / А.П. Дзицкоев // Садоводство и виноградарство. – 2014. – №1. – С.45-48.
6. Дзицкоев, А.П. Конструктивно-технологические параметры устройства для сбора ягод / Р.М. Тавасиев, А.П. Дзицкоев // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2016. – Т.53. – Ч. 2. – С.128-133.

В материалах конференций:

7. Дзицкоев, А.П. Параметры прутка счесывающей гребенки устройства для сбора ягод. [Текст] / А.П. Дзицкоев // Перспективы развития АПК в современных условиях. Материалы 6-й Международной научно-практической конференции. 7-8 апреля 2016. – Владикавказ, 2016. – С. 175-178.
8. Дзицкоев, А.П. Сравнительная оценка экономической эффективности применения устройства для сбора ягод черники. Научно-практические основы ускорения импортозамещения продукции садоводства / А.П. Дзицкоев // Материалы научно-практической конференции. 7-9 сентября 2017 года. – Мичуринск-Наукоград. 2017 – С.283-286.

Патентные документы

9. Патент Российской Федерации на полезную модель №147570, МПК АОИД 46/00. Устройство для сбора ягод / Р.М.Тавасиев, А.П. Дзицкоев, Э.А. Цебоев, М.А. Корытина, Б.В. Лазаров.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ГГАУ. – 2013150393/13; заявл. 12.11.2013; опубл. 10.11.2014. Бюл.№31. – 5 с.: ил.

Отчеты о научно-исследовательской работе

10. Отчет о выполнении НИОКР по теме: «Исследование и разработка экспериментального образца механизированного устройства для сбора ягод» / Р.М. Тавасиев, А.П. Дзицкоев и др. // гос. рег. №01201174672. – М.: ФГИУ «ЦИТИС», 2012, – 91 с.

Подписано в печать 09.10.2019г
Гарнитура Таймс. Печать трафаретная. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1924.

Типография ООО НПКП «МАВР», Лицензия Серия ПД №01107,
362002, г. Владикавказ, ул. Августовских событий, 8,
тел. 53-64-50, 8-918-706-55-11
tip_mavr@mail.ru