

На правах рукописи



БОЛОХОВ ВЯЧЕСЛАВ СЕРГЕЕВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КЛУБНЕЙ

Специальность: 05.20.01 – Технология и средства
механизации сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Улан-Удэ
2013

Работа выполнена на кафедре «Технический сервис автотракторной техники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Кузьмин Александр Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
кафедры «Пищевая и аграрная инженерия»
ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский
государственный университет технологий
и управления»,
Онхонова Лариса Очировна

кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры «Техническое
обеспечение АПК» ФГБОУ ВПО «Иркутская
государственная сельскохозяйственная академия
имени В.Р. Филиппова»
Васильев Филипп Александрович

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Якутская государственная
сельскохозяйственная академия»

Защита состоится 27 декабря 2013 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.039.06 при ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» по адресу: 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, Ключевская, 40а, ауд. 8-124.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»

Автореферат разослан « ____ » _____ 2013 г. и размещен на сайте ВАК Минобрнауки РФ referat_vak@obrnadzor.gov.ru « ____ » _____ 2013 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Б.Д. Цыдендоржиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Картофелеводство, как в России, так и за рубежом является одной из традиционно важных отраслей сельского хозяйства. картофель дает в 1,5 – 2 раза больше углеводов с единицы площади, чем зерновые. Производство картофеля связано с большими энерго- и трудозатратами. Чтобы произвести картофель в настоящее время необходимо около 500 чел.-ч. на 1 га, причём 40 – 60 % из них приходится на уборку, что составляет примерно 200 – 300 чел.-ч.

Главными причинами низкой эффективности картофелеводства является: низкий технологический уровень возделывания картофеля, отсутствие недорогих комплексов техники и оборудования для возделывания, послеуборочной доработки и хранения картофеля; недостаточные объёмы производства качественного и семенного материала, особенно сортов с высокими потребительскими качествами, предназначенных как для потребления в свежем виде, так и для промышленной переработки на картофелепродукты; несоблюдение требований стандартов и отсутствие системы сертификации в процессе элитного семеноводства картофеля.

Бурное развитие средств механизации в картофелеводстве выдвинуло на первый план проблему снижения механических повреждений клубней. Механические повреждения возникают в результате взаимодействия клубней с рабочими органами и примесями. По данным ряда исследований, в период массовой уборки картофеля применяемые комплексы машин повреждают от 15 до 47 % клубней. Основная доля повреждений приходится на картофелеуборочный комбайн и сортировальный пункт; значительное количество клубней повреждается при перевозке и закладке на хранение.

Следовательно, механические повреждения существенно влияют на качество продукции, потери при хранении, кулинарные качества, на качество семенного картофеля, которое влияет на величину будущего урожая. Чтобы снизить механические повреждения необходимо совершенствовать рабочие органы картофелеуборочных машин.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с утвержденной темой НИР БГСХА, имеющую государственную регистрацию ВНИИЦ № ГР 0120.0 712169 «Элементы формирования эффективной инженерно-технической системы АПК» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Бурятия в виде гранта молодых ученых М-09-13 и Федерального агентства по делам молодежи (Росмолодежь) в виде премии.

Цель работы - совершенствование конструкций сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин для снижения повреждаемости клубней картофеля.

Задачи исследования:

- теоретические исследования факторов и влияния ударных процессов на механическую повреждаемость клубней;
- экспериментальные исследования соударения клубней с поверхностями рабочих органов;
- обоснование параметров рабочих органов картофелеуборочных машин;

- оценка повреждений клубней картофеля при сравнительных лабораторно-полевых испытаниях.

Объект исследования. Технологический процесс уборки картофеля машинами, в частности, в зависимости от сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин на механическую повреждаемость клубней картофеля.

Предмет исследования. Взаимосвязь снижения механической повреждаемости клубней картофеля с конструктивными параметрами сепарирующих рабочих органов картофелеуборочных машин.

Методы исследований и достоверность результатов. Методологической основой исследований являются теоретические положения классической теории удара и элементы теории упругости.

Достоверность и обоснованность научных положений и результатов работы подтверждается: использованием сертифицированных средств измерения параметров; использованием государственного и отраслевого стандартов; подтверждение расчетных данных с экспериментальными; использованием стандартных пакетов прикладных программ анализа данных.

Научная новизна диссертации заключается в комплексном исследовании факторов, влияющих на повреждаемость клубней картофеля при механизированной уборке, получение моделей, описывающих повреждаемость клубней картофеля, анализе и обобщении теоретических положений и закономерностей, в результате которых:

- разработаны математические модели повреждаемости клубней картофеля при механизированной уборке;
- разработаны технические средства оценки устойчивости клубней картофеля к механическим повреждениям;
- обоснованы оптимальные параметры режима работы картофелеуборочных машин с целью снижения уровня повреждений клубней картофеля при механизированном возделывании;
- разработаны рабочие органы картофелеуборочных машин для снижения уровня повреждений клубней картофеля.

Новизна предложенных технических разработок подтверждена патентами РФ на изобретения (№2324322, №2321851).

Практическую ценность работы представляют:

- разработанные и усовершенствованные технические средства для оценки клубней картофеля на устойчивость к механическим повреждениям в период уборки, также данные технические средства могут быть использованы для селекционной работы;
- рекомендации по оптимальным режимам работы картофелеуборочных машин для снижения уровня повреждаемости клубней картофеля при механизированном возделывании в условиях Республики Бурятия;
- усовершенствованный сепарирующий рабочий орган, предназначенный для снижения уровня повреждаемости клубней картофеля.

Реализация результатов исследований. Сепарирующий рабочий орган (вильчатая направляющая) была смонтирована на картофелекопатель КТН-2В-1 и

внедрена в ООО «Сокол» Селенгинского района, ООО «Деметра» Иволгинского района и в трех фермерских хозяйствах Республики Бурятия.

Апробация работы. Основные положения работы обсуждались на зарубежных, международных и региональных научно-практических конференциях: Восточно-Сибирский государственный технологический университет (Улан-Удэ, 2006г.), Иркутская ГСХА (Иркутск, 2008г.), Монгольский сельскохозяйственный университет (Монголия, Улан-Батор, 2010г.), на международной конференции «Хурэл Тогоот» (Монголия, Улан-Батор, 2010г.), на ежегодных научно-практических конференциях Бурятской ГСХА имени профессора В.Р. Филиппова (2006 – 2013 гг.), на ежегодных научно-практических конференциях Восточно-Сибирского государственного технологического университета и на ежегодных научно-практических конференциях Иркутской ГСХА (2006 – 2013 гг.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 25 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных из списка ВАК РФ, 2 статьи – в зарубежных журналах, 2 патента на изобретения РФ.

На защиту выносятся:

- математические модели повреждаемости клубней картофеля при механизированной уборке.

- технические средства оценки устойчивости клубней картофеля к механическим повреждениям в период уборки;

- комплекс конструктивных разработок и технических мероприятий, заключающийся в разработке устройств для оценки устойчивости клубней картофеля к механическим повреждениям и конструкций рабочих органов картофелеуборочных машин.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Общий объем 203 с. основного текста - 129 с., приложений - 56 с., имеется 51 рисунков, 19 таблиц. Библиографический список состоит из 161 наименования, в т.ч. 11 иностранных авторов, ссылок на электронные ресурсы и программы 7.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, изложена научная новизна и практическая ценность работы.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ современного состояния технологий и картофелеуборочных машин как в России, так и за рубежом. Так, технологический процесс уборки картофеля независимо от применяемых средств механизации включает следующие основные операции: подкапывание (выкапывание) клубней, отделение (сепарация) клубней от почвы, отрыв клубней от ботвы, удаление ботвы и растительных примесей, отделение камней и других примесей, погрузка клубней в тару или в транспортные средства.

Кроме того, рассмотрены виды повреждений и потери картофеля, возникающие при механизированной уборке картофеля; были изучены влияние условий (физико-механические свойства почв, сортовые особенности, агротехнические

мероприятия, удобрения, способов уборки и т.д.) на качество и урожайность клубней. Рассмотрены строение и физико-механические свойства клубня картофеля и классификация механической повреждаемости клубней.

Изучены труды по изучению механической повреждаемости клубней картофеля при механизированной уборке такими учеными как Горячкин В.П., Мацелуро М.Е., Колчин Н.Н., Петров Г.Д., Сорокин А.А., Виноградов В.И., Верещагин Н.И., Угланов М.Б., Бышов Н.В., Заводнов С.В., Пшеченков К.А., Борычев С.Н., Дорохов А.П., Ельцов Е.И., Кутепов Б.П., и другими.

Учитывая, что в России в настоящее время, основным производителем картофеля является средние и мелкие фермерские хозяйства, наиболее эффективными являются одно- и двухрядные комбайны в диапазоне от 50 до 200 га.

В настоящее время среди основных задач, решаемых при разработке картофелеуборочной техники, стоит проблема создания картофелеуборочных машин, обладающих максимальной сепарирующей способностью при минимальных повреждениях клубней, способных работать на всех типах почв, но недорогих, с меньшей массой, меньшими габаритами, приспособленных для небольших и средних хозяйств, т.е. однорядных (возможно двухрядных).

Однако практикой установлено, что производство картофеля сосредоточено в благоприятных почвенно-климатических зонах, особенно за рубежом, в частности в США. В России - картофелеуборочные машины были спроектированы как универсальные для всех типов почв. В связи с вышеизложенным, у нас в России наблюдается большой процент механических повреждений клубней, особенно комбайнами. Как выяснилось, при уборке из всех рабочих органов комбайна наиболее опасны (с точки зрения механических повреждений клубней) сепарирующие рабочие органы в местах перепада с одного рабочего органа на другой.

На основании вышесказанного была сформулирована следующая рабочая гипотеза: снижение механической повреждаемости клубней картофеля путем установки нового сепарирующего рабочего органа, позволяющая снизить высоту перепада клубня картофеля и механической повреждаемости клубней картофеля. Для снижения механических повреждений сотрудниками ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова» разработан картофелеуборочный комбайн.

Во второй главе «Теоретические исследования факторов механических повреждений клубней картофеля при уборке» рассмотрены основные факторы, влияющие на механическую повреждаемость клубней при уборке. Из всех рассмотренных нами факторов наибольшую зависимость механических повреждений клубней картофеля имеют конструктивные особенности уборочных машин. Основным из критериев уменьшения повреждаемости клубней является снижение высоты падения клубня, ограничение скорости соударения клубней с рабочими органами машины и скорости самих рабочих органов.

Представим клубень эллипсоидом (рисунок 1):

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

где a, b и c – полуоси эллипсоида, которые определяются длиной, шириной и толщиной клубня.

По принципу Даламбера уравнение равновесия элемента клубня, подверженного ударному воздействию, можно записать в виде дифференциального уравнения:

$$\frac{dN}{dz} = -q, \quad (2)$$

где: N – продольная составляющая главного вектора внутренних сил, действующих в сечении клубня; q – распределенная по длине клубня нагрузка от сил инерции.

Для единицы длины клубня эта нагрузка будет выражена по С.В. Заводнову:

$$q = -m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (3)$$

где $m = \rho F$, ρ – плотность мякоти клубня,

$F = \pi \cdot b \cdot c \cdot \left(1 - \frac{z^2}{a^2}\right)$ – площадь поперечного сечения;

ния;

w – перемещение сечения вдоль оси Z .

В третьей главе «Экспериментальные исследования повреждаемости клубней картофеля в лабораторных условиях» нами были проведены экспериментальные исследования на технических устройствах, разработанными сотрудниками БГСХА: «Маятниковый копер» и «Определитель повреждаемости клубней». Исследование клубня картофеля при помощи установки «Маятниковый копер» (рисунок 2) проводилась для определения упруго-прочностных параметров клубня картофеля 5 сортов.

Методика исследования на маятниковом копере заключалась в следующем: клубень помещали в специальный короб 3, расположенный в копере. Далее мелом отмечали боек 4 и после чего отклоняли стержень маятника 5 на определенный угол, тем самым регламентировалась сила удара.

Путем освобождения стержня маятника 5 наносили удар по клубню бойком 4. Таким образом, моделируется динамическое воздействие рабочих органов картофелеуборочных машин на клубень картофеля при его уборке. После нанесения удара по клубню мы измеряли площадь пятна. После этого исследуемый клубень закладывали на десятидневное хранение при нормальной температуре и влажности воздуха для определения величины поврежденной части клубня согласно методике ОСТ 10-8.5-87.

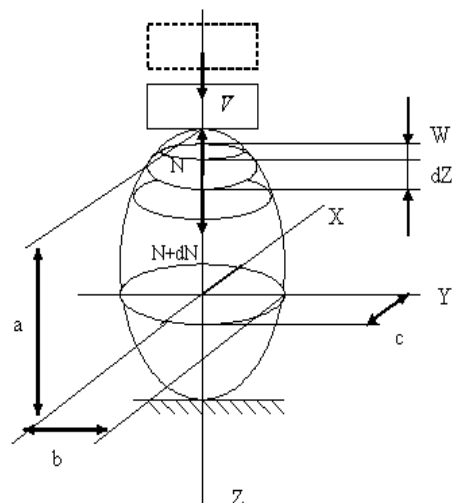


Рисунок 1 – Удар по клубню

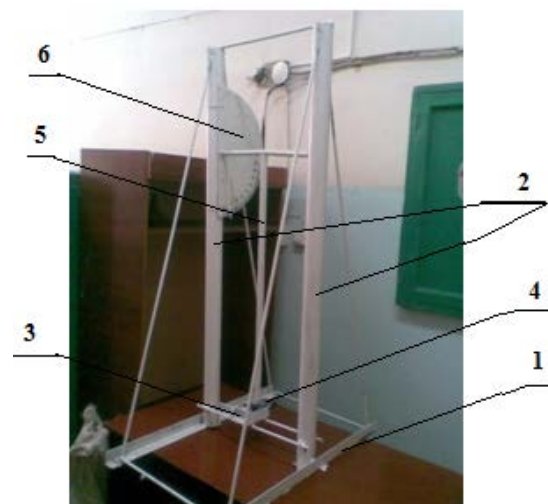


Рисунок 2 - Маятниковый копер
1 – станина; 2 – труба; 3 – короб;
4 – боёк; 5 – стержень маятника;
6 – шкала.

Итак, по результатам исследований на маятниковом копре мы определили графики зависимости предела прочности, модуля упругости и механической повреждаемости от угла подъема маятника, (рисунки 3-5). Обработку результатов маятникового копра осуществляли при помощи автоматизированной программы Microsoft Office Excel.

Из рисунка 5 видно, что менее прочным оказался сорт картофеля «Коротоб», он имеет наибольшую массу повреждений клубней картофеля - 854,3 грамма. Объясняется тем, что картофель сорта «Коротоб» проходит процесс адаптации к климатическим условиям Республики Бурятия.

Определитель повреждаемости клубней (далее определитель) позволяет узнать уровень повреждаемости клубней картофеля при оптимизации работы картофелеуборочных машин, а также для селекции сортов картофеля, предназначенных для механизированного возделывания.

Новизна определителя подтверждена и защищена патентом Российской Федерации на изобретение №2321851.

Применение данного устройства позволяет максимально приблизить экспериментальные испытания к реальным условиям механизированного возделывания и уборки клубней картофеля, что повышает точность определения повреждаемости клубней.

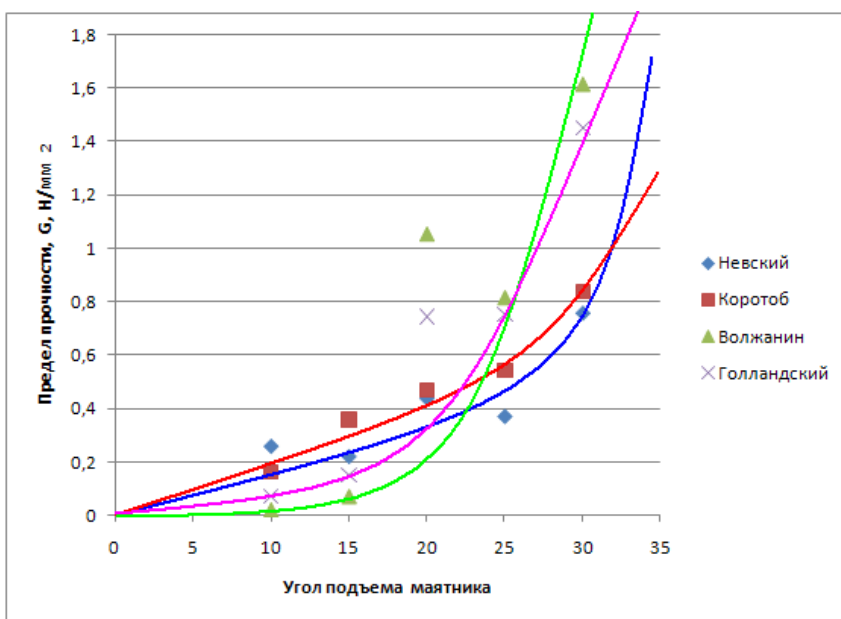


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности клубня картофеля от угла подъема маятника

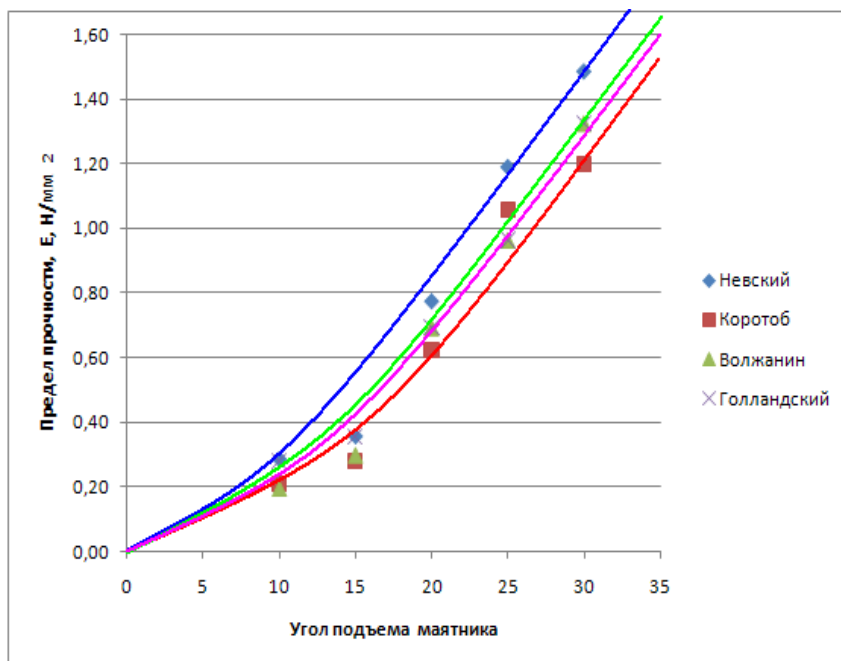


Рисунок 4 – Зависимость модуля упругости клубня картофеля от угла подъема маятника

Программа работы на определителе повреждаемости клубней включала в себя: 1) обосновать оптимальные режимы определителя, соответствующие работе картофелеуборочных комбайнов и копателей; 2) разработать математическую модель повреждаемости клубней картофеля на определителе повреждений.

Для проведения указанных исследований нами был поставлен ряд экспериментов при работе определителя повреждаемости клубней. Так нами были определены рациональные параметры и режимы работы определителя повреждения клубней: длина пруткового полотна 3978 мм, шаг прутков 32 мм, ширина лопасти 150 мм, скорость движения полотна 2,02 м/с. Так для картофелеуборочного комбайна ККУ-2А частота вращения на валу двигателя равна 1897 об/мин, а для картофелекопателя КТН-2В – 657 об/мин.

Определитель работает следующим образом (рисунок б). В корпус 2 засыпают порцию клубней через окно 1. Включают электродвигатель, и вращение передается ведущим звездочкам, которые приводят в движение прутковое полотно. Клубни картофеля пересыпаются по прутковому полотну 5, затем клубни сгребаются вильчатой лопастью 6 и поднимаются на определенную высоту, откуда они падают на прутковое полотно 5. Защитные стены 3 закрывают корпус 2 от просыпания клубней картофеля за пределы определителя.

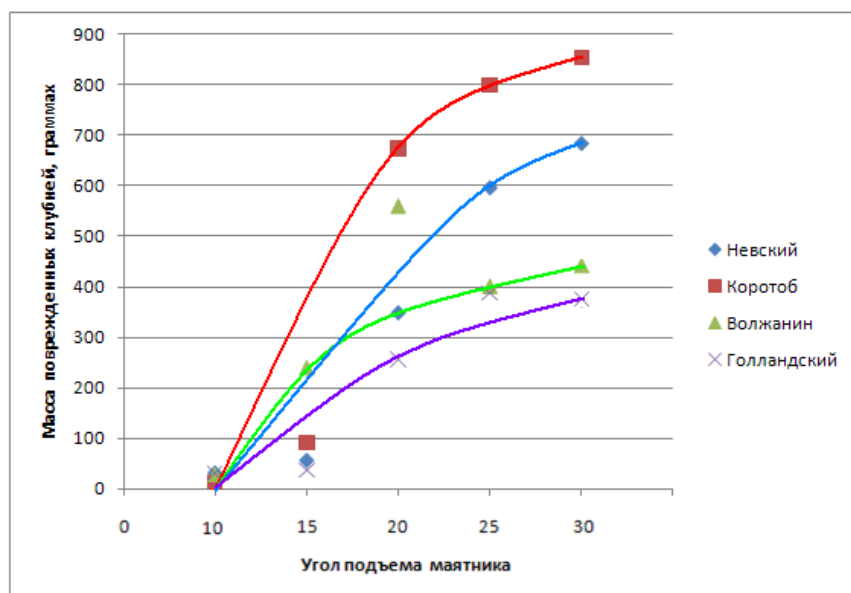


Рисунок 5 - Повреждаемость клубней картофеля в зависимости от угла подъема маятника



Рисунок 6 - Определитель повреждаемости клубней
1 – окно; 2 – корпус; 3 – защитная стена;
4 – лопасть; 5 – прутковое полотно

Испытания определителя повреждаемости клубней проводили в следующих режимах: 2 оборота, 4 оборота и 6 оборотов. В каждом режиме брали по 4 повторностей и с доверительной вероятностью 0,95 определяли процентное содержание поврежденных клубней.

Методика оценки клубней картофеля при исследовании определителем и маятниковым копром соответствует отраслевому стандарту. При анализе клубни сортировали на две группы: неповрежденные и поврежденные. На поврежденных клубнях в день испытания учитывали следующие виды повреждений: 1) содрана кожура с более $\frac{1}{2}$ поверхности; 2) содрана кожура от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ поверхности; 3) вырывы мякоти глубиной более 5 мм; 4) трещины длиной более 20 мм; 5) разрезы и надрезы; 6) раздавленные клубни.

Все клубни как поврежденные, так и

целые подсчитывали и взвешивали. Затем все клубни закладывали

на пятнадцатидневное хранение. После хранения определяли потемнения мякоти: клубни разрезали перпендикулярно продольной оси на дольки толщиной 3 мм. При резке клубней, из группы поврежденных учитывали только количество очагов с потемнениями мякоти на глубину до и свыше 5 мм.

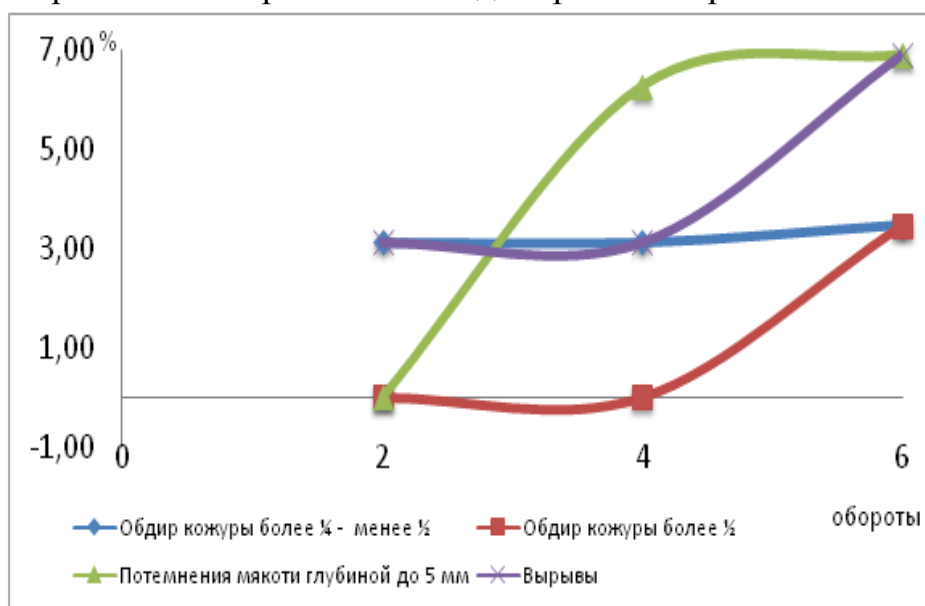


Рисунок 7 – Зависимость количества повреждений клубней от режимов работы определителя

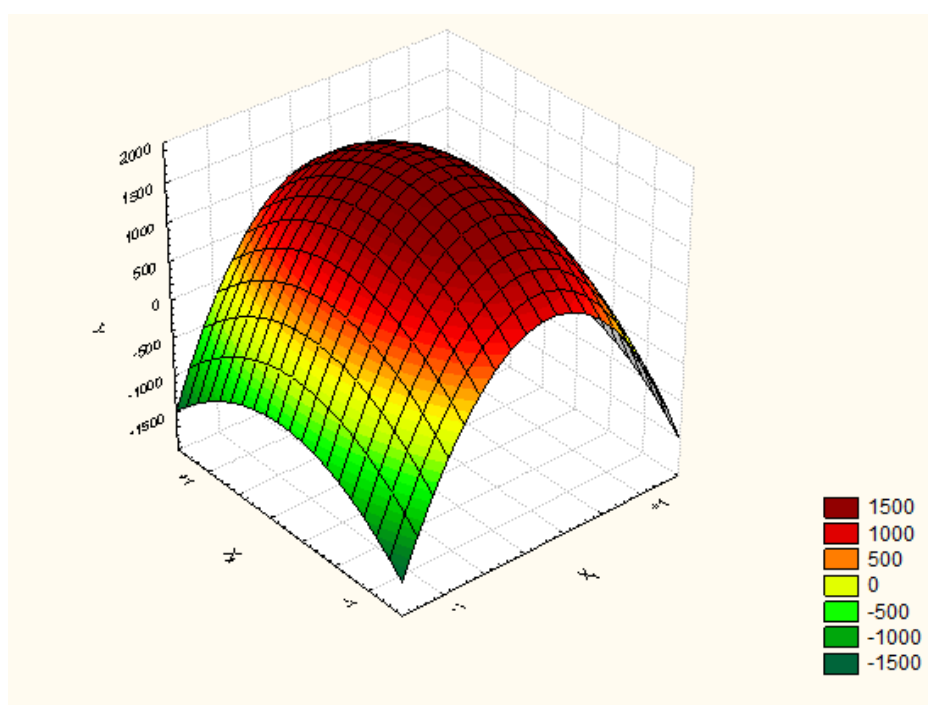


Рисунок 8 – Поверхность отклика уравнения (4) определителя повреждений клубней картофеля

Результаты анализа данных на определителе показали, что повреждаемость клубней картофеля при 2-х оборотах составила 6,25%, при 4-х оборотах – 14,58%, при 6-ти оборотах – 17,78%. Обработку результатов проводили при помощи автоматизированной программы Microsoft Office Excel. Зависимость количества повреждений клубней от режимов работы определителя отражена на рисунке 7.

Из рисунка 7 видно, что при увеличении оборотов от двух до шести идет рост повреждаемости клубней картофеля по видам повреждений: обдир кожуры более ¼ до менее ½, обдир кожуры более ½, потемнения мякоти глубиной до 5 мм.

При анализе рисунка 7 можно отметить, что наибольшая зависимость между механической повреждаемостью клубней на определителе и на комбайне наблюдается по следующим видам повреждений: потемнения мякоти, вырывы и обдир кожуры.

Таким образом, определитель имитирует процесс движения полотна в картофелеуборочных машинах, а также перепады, т.е. удары клубней о прутковую поверхность. Так для картофелеуборочного комбайна наиболее по повреждаемости клубней подходит, когда определитель работает при 6-ти оборотах, а при картофелекопалеле – 2 оборота.

Для получения адекватной математической модели второго порядка в практических исследованиях используют полный квадратичный полином второго порядка. Так при $n=2$ полином второго порядка содержит 6 членов. Сначала для определителя нами были выбраны наиболее значимые факторы, влияющие на механическую повреждаемость клубней картофеля: сорт картофеля и количество оборотов определителя.

Выполнив обработку экспериментальных данных определителя (рисунок 8) при помощи автоматизированной программы ЭВМ STATISTICA 6.1, мы определили уравнение регрессии (4):

$$\bar{Y} = 93,75 + 23,125x_1 + 30,25x_2 - 1,625x_1x_2 + 65,625x_1^2 + 76x_2^2. \quad (4)$$

Анализируя поверхность отклика уравнения (4), мы пришли к выводу, что найдена адекватная математическая модель, позволяющая определителю имитировать режимы работы картофелеуборочных машин.

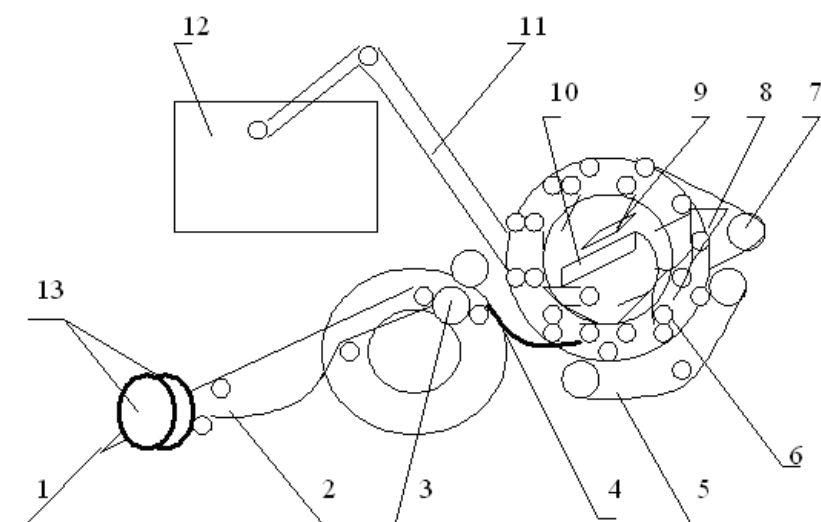


Рисунок 9 - Схема картофелеуборочного комбайна
1 – подкапывающий рабочий орган, 2 – основной элеватор, 3 – комкодавитель, 4 – вильчатая направляющая, 5 – дополнительный элеватор, 6 – подъемный барабан, 7 – редкопрутковый транспортер, 8 – отсекающая ботвы, 9 – сталкивающая планка, 10 – выносной транспортер, 11 – загрузочный транспортер, 12 – бункер, 13 – спаренные диски, с активным дисковым ножом.

Таким образом, учитывая все выше сказанное, нами был разработан картофелеуборочный комбайн (рисунок 9), предназначенный для выкапывания картофеля на гребневых и полугребневых посадках с междурядьями 70, 75 и 95 см, отделения клубней от почвы, ботвы и растительных примесей с последующим сбором клубней в бункер, и выгрузки их в транспортное средство.

В разработанном картофелеуборочном комбайне, новизна которого подтверждена патентом на изобретение РФ №2324322, нами был взят на изучение сепарирующий рабочий орган – вильчатая направляющая (рисунок 10), которая обеспечивает дополнительную сепарацию почвы, снижает высоту перепада с одного рабочего органа на другой и снижает механическую повреждаемость клубней картофеля. Решение уравнения вильчатой направляющей (рисунок 10) сводится к нахождению функции $y(x)$, реализующей минимум функционала:

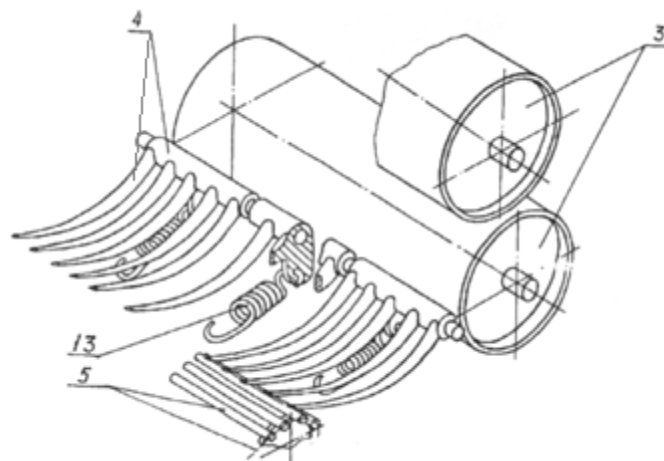


Рисунок 10 - Конструкция вильчатой направляющей

$$Y(x) = \int_a^b \sqrt{\frac{1+(y')^2}{2y}} dx, \quad (5)$$

где a и b – абсциссы точек A и B .

Особенностью данной конструкции является то, что с целью уменьшения повреждения клубней, затрат труда и металлоемкости картофелеуборочный комбайн снабжен размещенными после комкователей вильчатыми направляющими 4 (рисунок 10) вместо второго пруткового элеватора.

Составим схему движения клубня картофеля по рабочим органам картофелеуборочного комбайна (рисунок 11).

Рассматривая движение отдельного клубня картофеля, получим усилие, действующее на частицу в направлении движения ленты (рисунок 12)

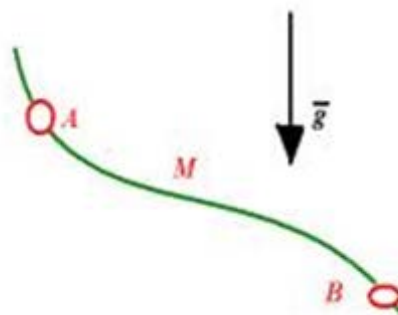


Рисунок 11 – Кривая брахистохрона

$$P = mg(f \cos \alpha - \sin \alpha)l. \quad (6)$$

По теореме об изменении кинетической энергии:

$$\frac{m(v_1^2 - v_0^2)}{2} = mg(f \cos \alpha - \sin \alpha)l. \quad (7)$$

Откуда скорость движения клубня картофеля, с которой достигнет картофель в направлении движения ленты составит:

$$v_1 = \sqrt{2gl(f \cos \alpha - \sin \alpha) + v_0^2}. \quad (8)$$

Далее клубень поступает на вильчатую направляющую, в виде конструкционной формы, описывающая кривую брахистохрону (рисунки 10 и 12).

Откуда находим скорость $v_1 = \sqrt{2gy}$. (9)

Далее приравняем уравнения (8) и (9):

$$\sqrt{2gl(f \cos \alpha - \sin \alpha) + v_0^2} = \sqrt{2gy}. \quad (10)$$

$$2gl(f \cos \alpha - \sin \alpha) + v_0^2 = 2gy.$$

$$v_0 = \sqrt{2gy - 2gl(f \cos \alpha - \sin \alpha)}.$$

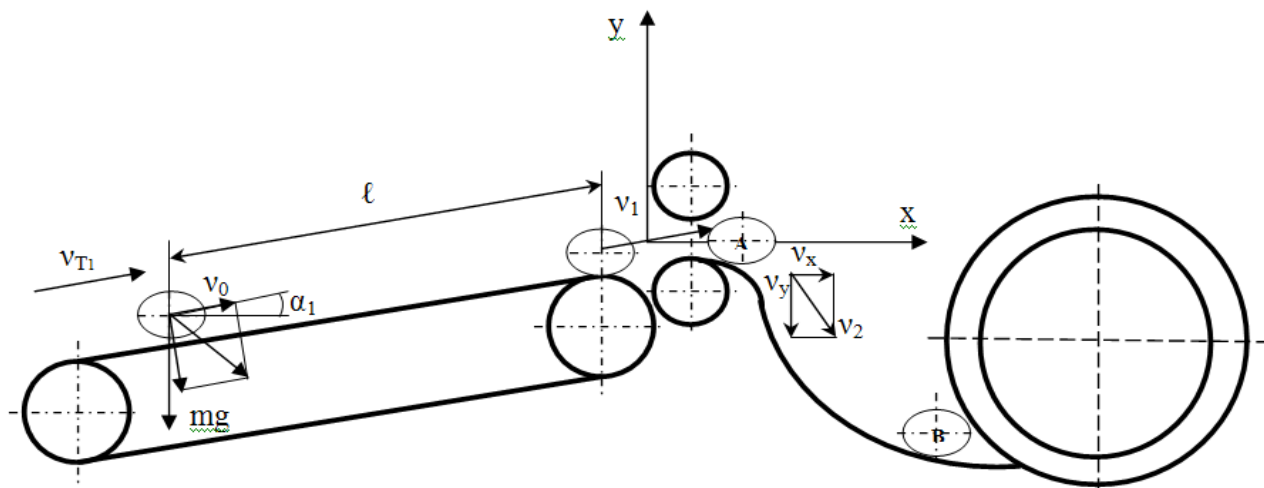


Рисунок 12 – Схема движения картофеля по вильчатой направляющей

После математических преобразований мы получили скорость движения клубня картофеля по кривой брахистохроне равна:

$$v_0 = \sqrt{2g(y-l)(f \cos \alpha - \sin \alpha)}. \quad (11)$$

Будем считать, что $y=y(x)$ – уравнение кривой брахистохроны, по которой «скатывается» клубень картофеля из точки А в точку В. Если обозначить через s длину пройденного пути, а через t время, то можно записать:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{\sqrt{1+y'^2} dx}{dt}. \quad (12)$$

Следовательно,

$$dt = \frac{\sqrt{1+y'^2} dx}{v_0} = \frac{\sqrt{1+y'^2} dx}{\sqrt{2g(y-l)(f \cos \alpha - \sin \alpha)}}. \quad (13)$$

Интегрируя, получаем следующее выражение:

$$T = \int_0^T dt = \frac{1}{\sqrt{2g}} = \int_0^{\bar{x}} \frac{\sqrt{1+y'^2} dx}{\sqrt{(y-l)(f \cos \alpha - \sin \alpha)}}, \quad (14)$$

где T - время, в течение которого клубень картофеля движется вдоль кривой брахистохроны $y=y(x)$ ($0 \leq x \leq \bar{x}$) из А в В.

Из физических соображений ясно, что кривая брахистохрона не имеет «изломов» или «углов» и поэтому функции $y=y(x)$ можно считать гладкими, т.е. непрерывно дифференцируемыми: $y \in C_1[0, \bar{x}]$.

Проведем интегрирование выражения (14):

$$T = \frac{1}{\sqrt{2g}} \int_0^{\bar{x}} \frac{\sqrt{1+y'^2} (f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sqrt{(y-l)}} dx = \frac{1}{\sqrt{2g}} \frac{\bar{x} \sqrt{y'^2+1} (f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sqrt{(y-l)}} = \frac{\bar{x} \sqrt{y'^2+1} (f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sqrt{2g(y-l)}}.$$

Итак мы получили (15) выражение, которое определяет время в течение которого клубень картофеля движется вдоль кривой брахистохроны $y=y(x)$ ($0 \leq x \leq \bar{x}$) из А в В.

$$T = \frac{\bar{x} \sqrt{y'^2+1} (f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sqrt{2g(y-l)}}. \quad (15)$$

Далее необходимо определить скорость движения клубня картофеля по кривой брахистохроне (по вильчатой направляющей):

$$v = \frac{S}{T} = \frac{S}{\frac{\bar{x} \sqrt{y'^2+1} (f \cos \alpha - \sin \alpha)}{\sqrt{2g(y-l)}}} = \frac{S \sqrt{2g(y-l)}}{\bar{x} \sqrt{y'^2+1} (f \cos \alpha - \sin \alpha)}. \quad (16)$$

То есть скорость движения клубня картофеля равна:

$$v = \frac{S \sqrt{2g(y-l)}}{\bar{x} \sqrt{y'^2+1} (f \cos \alpha - \sin \alpha)}. \quad (17)$$

В четвертой главе «Экспериментальные исследования повреждаемости клубней картофеля в полевых условиях» представлены результаты исследований картофелеуборочных машин (ККУ-2А, КПК-3, SE-75-30, КТН-2В) и результаты исследований сепарирующего рабочего органа, встроенного в определитель повреждаемости клубней. Эксперименты проводились с 2005 по 2012 годы в Селенгинском и Иволгинском районах Республики Бурятия. Почва представляла собой легкий супесь с влажностью в разных слоях от 46,54 до 75,5 % и твердостью от 0,12 до 0,23 МПа. Потери клубней картофеля в период уборки машинами составили следующие: для ККУ-2А – 10%, для КПК-3 – 7%, для SE-75-30 – 1,5% и для КТН-2В – 4-5%. Исследования проводили в четырехкратной повторности и с доверительной вероятностью 0,95 определяли повреждаемость клубней картофеля при уборе.

Методика определения механической повреждаемости клубней на комбайнах ККУ-2А, Grimme SE-75-30, на картофелекопатель КТН-2В и на вильчатой направляющей осуществлялось согласно методике описанной в отраслевом стандарте ОСТ 10-8.5-87 и проводилось следующим образом. Для начала мы учли факторы, такие как температура воздуха и почвы, погода, сроки посадки и уборки картофеля, время снятия проб, сорт картофеля, марка трактора, комбайна и картофелекопателя, а также рабочую скорость. Оценку картофеля на механическую повреждаемость при уборке проводили по такой же методике, описанной в 3 главе диссертационной работы.

Для получения математической модели в практических исследованиях использовали полином второго порядка, с помощью которого осуществляется взаи-

мосьвязь выходного параметра (функции отклика) \bar{Y} с независимыми факторами x_i . В качестве факторов, влияющие на механическую повреждаемость клубней при уборке нами были приняты сорт картофеля, рабочая скорость машины и марка машины.

После реализации экспериментов по 15 опытам, проведена математическая обработка и построена математическая модель процесса повреждаемости клубней картофеля на уборочных машинах. Обработку экспериментов проводили при помощи автоматизированной программы ЭВМ STATISTICA 6.1.

Таким образом, мы получили уравнение регрессии:

$$\bar{Y} = 15,122 - 0,132x_1 - 1,127x_2 + 1,859x_3 + 0,168x_1x_2 - 0,125x_1x_3 - 0,17x_2x_3 - 0,043x_1x_2x_3 + 4,242x_1^2 + 0,536x_2^2 - 1,698x_3^2 \quad (18)$$

В итоге нами была получена после проверки на адекватности следующая математическая модель процесса повреждения клубней картофеля на уборочных машинах:

$$\bar{Y} = 15,122 - 1,127x_2 + 1,859x_3 + 4,242x_1^2 + 0,536x_2^2 - 1,698x_3^2 \quad (19)$$

Адекватность полученных математических моделей как в третьей главе, так и в четвертой главе оценивалась посредством критерии Фишера.

Графическая интерпретация математической модели процесса повреждения клубней картофеля на уборочных машинах представлена на рисунках 13 – 15.

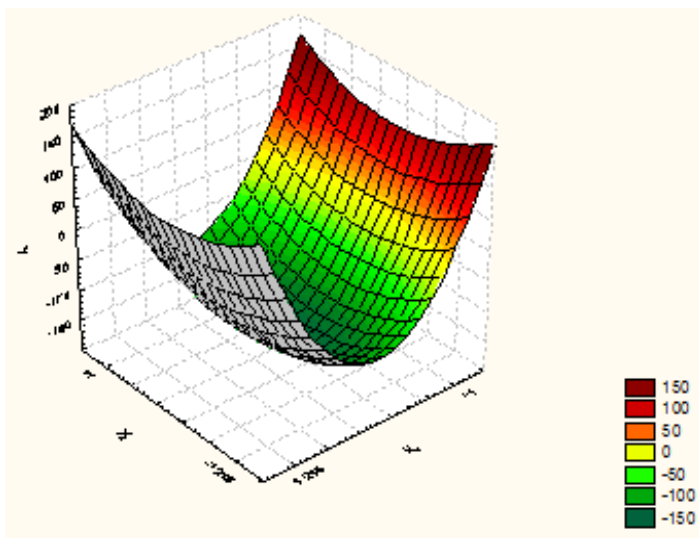


Рисунок 13 - Поверхность отклика математической модели зависимости поврежденной части клубней картофеля от сорта картофеля и рабочей скорости комбайна

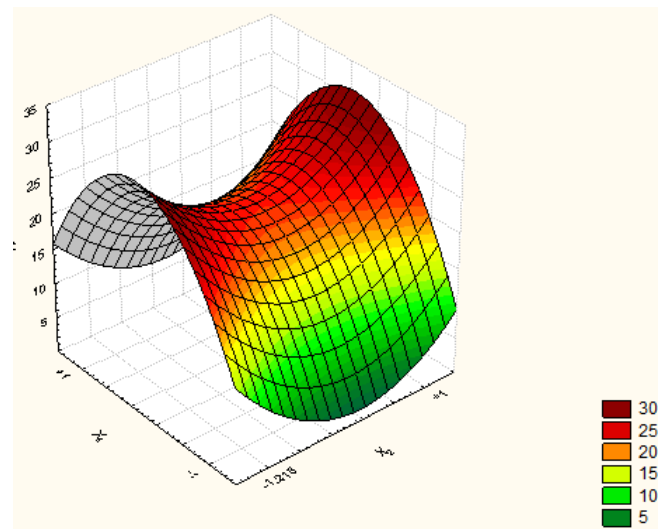


Рисунок 14 - Поверхность отклика математической модели зависимости поврежденной части клубней картофеля от рабочей скорости комбайна и марки машины

Исследования вильчатой направляющей (рисунок 17) проводили согласно отраслевому стандарту ОСТ 10-8.5-87 описанной выше.

В качестве критерия оптимизации выбрали процент поврежденных клубней по количеству. Из предварительных экспериментов установили основные факторы (управляемые), влияющие на повреждаемость. Это, прежде всего, сорт картофеля (предел прочности) X_1 , рабочая скорость X_2 и форма вильчатой направляющей X_3 (таблица 1).



Рисунок 16 – Структура повреждений на вильчатой направляющей

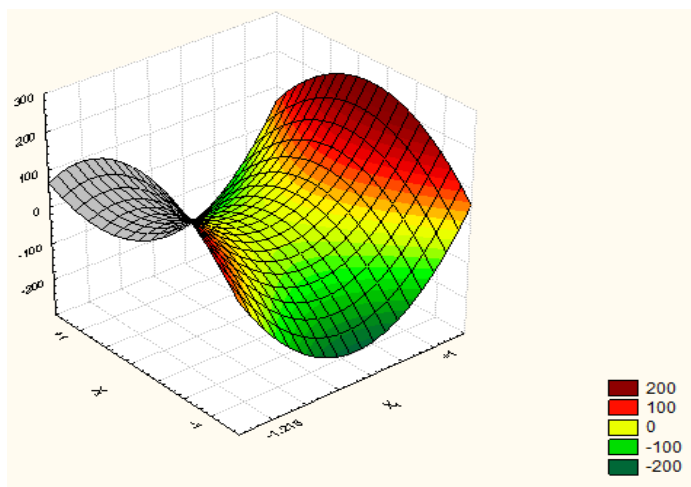


Рисунок 15 - Поверхность отклика математической модели зависимости поврежденной части клубней картофеля от сорта картофеля и марки машины



Рисунок 17 – Вильчатая направляющая в определителе повреждаемости клубней

Механическая повреждаемость при использовании вильчатой направляющей в определителе повреждаемости клубней (рисунок 17) составляет 5,03% по количеству и последующим видам повреждений, структура которого изображена на рисунке 16.

При исследовании вильчатой направляющей наибольшую повреждаемость клубней картофеля составили трещины - 35,29%, обдир кожуры - 27,94% и потемнения мякоти - 19,12% соответственно (рисунок 16).

Обработку результатов исследований вильчатой направляющей проводили при помощи автоматизированной программы STATISTICA 6.1 и определили уравнения множественной регрессии, устанавливающие связь между факторами и параметром оптимизации.

Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования

Показатели	Кодированное значение	Факторы и их обозначение			
		Сорт картофеля (предел прочности), Н/мм ² , X ₁	Рабочая скорость (режим работы), м/с, X ₂	Форма вильчатой направляющей (длина), м, X ₃	Повреждаемость, %, Y
Верхний уровень	+1	3	2	0,74	6,67
Базовый уровень	0	2,2	1,75	0,625	3,5
Нижний уровень	-1	1,4	1,5	0,51	5
Интервал варьирования	-	0,8	0,25	0,115	1,5

По итогам обработки результатов исследований вильчатой направляющей получили следующие уравнения множественной регрессии:

$\bar{Y} = 4,7015 - 1,1546x + 0,3041y + 0,0114x^2 + 0,0004xy - 0,0032y^2$ – зависимость режима работы комбайна от предела прочности клубня картофеля (рисунок 18). Адекватность математической модели составила 97,678 %;

$\bar{Y} = 4,9685 - 1,1312x + 2,5217y - 0,0114x^2 + 0,0003xy + 0,0248y^2$ – зависимость формы вильчатой направляющей от режима работы комбайна (рисунок 19). Адекватность математической модели составила 98,358 %;

$\bar{Y} = 4,105 + 0,3762x - 0,8488y - 0,0035x^2 - 0,0004xy + 0,0086y^2$ – зависимость формы вильчатой направляющей предела прочности клубня картофеля (рисунок 20). Адекватность математической модели составила 94,456 %.

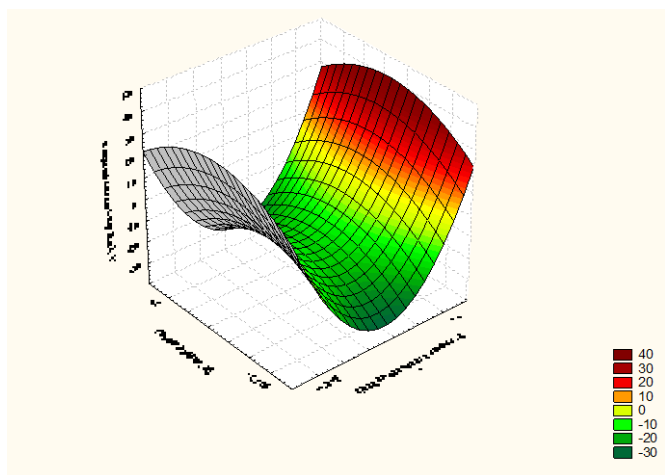


Рисунок 18 - Зависимость режима работы комбайна X₂ от предела прочности клубня X₁

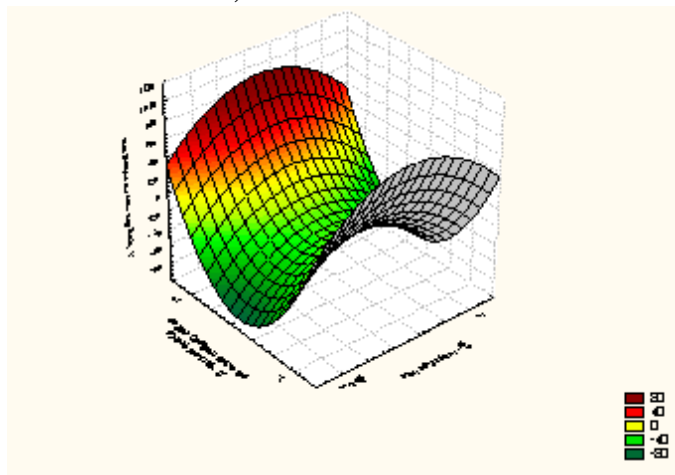
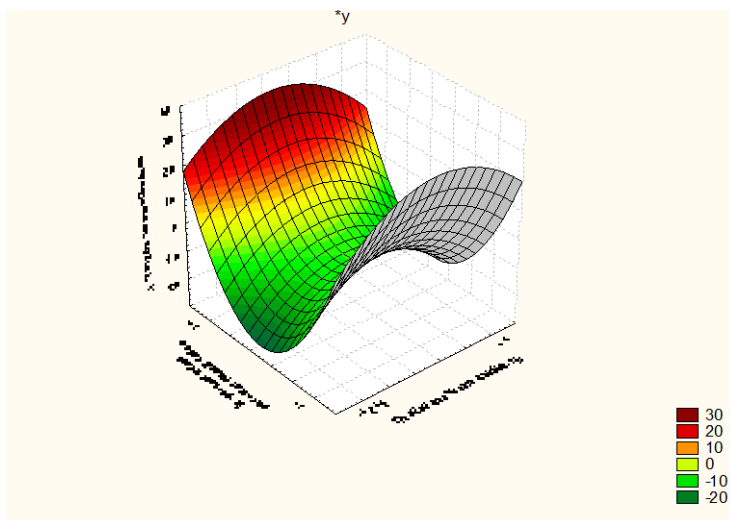


Рисунок 19 – Зависимость формы вильчатой направляющей от режима работы комбайна

В пятой главе «Экономическая эффективность рекомендаций» представлены показатели экономической оценки от применения сепарирующим рабочим органом (вильчатой направляющей), снижающий потери от повреждений картофеля при интенсивных технологиях его возделывания, а также в снижении затрат и средств при их проведениях.

При внедрении вильчатой направляющей в хозяйство ООО «Сокол» позволило снизить повреждаемость клубней картофеля на 65 т и годовой экономический эффект составил 120,86 тыс. рублей.



направляющей от предела прочности клубня.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Из факторов, влияющих на механическую повреждаемость клубней, наибольшее значение наряду с сортовыми имеют технические (конструктивные особенности исполнения рабочих органов).

2. Исследования маятниковым копром для изучения прочности и упругости клубней картофеля определили, что значительное повреждение клубней картофеля происходит при угле нанесения маятникового копра свыше 20° . Получена математическая модель, которая адекватно описывает процесс повреждаемости клубней на маятниковом копре.

3. Экспериментальные исследования процесса повреждаемости клубней картофеля при работе на определителе повреждаемости с применением многофакторных экспериментов позволили определить следующие режимы работы для: картофелекопателя КТН-2В, комбайна SE-75-30 – 2 оборота, комбайна ККУ2А – 4 оборота и комбайна КПК-3 – 6 оборотов. Получена математическая модель, адекватно описывающая процесс повреждаемости клубней картофеля на определителе.

4. В результате выполненных исследований обоснован сепарирующий рабочий орган картофелеуборочной машины, в частности вильчатая направляющая (патент на изобретение РФ №2324322), предназначенная для уменьшения механических повреждений клубней картофеля, за счет снижения высоты перепада с одного рабочего органа на другой. Годовой экономический эффект от внедрения сепарирующего рабочего органа составит 120,86 тыс. рублей.

5. Обоснованы основные конструктивные параметры вильчатой направляющей, имеющей форму брахистохроны. Так, при движении комбайна со $v = 1,5-2,0$ м/с получили следующие значения длины направляющей: 0,51 – 0,74 м (опти-

мальная длина вильчатой направляющей составляет 0,625 м, при котором наблюдается наиболее низкий уровень повреждаемости клубней картофеля) и $h = 0,2$ м.

6. Хозяйственные испытания разработанного сепарирующего рабочего органа подтвердили снижение потери картофеля от повреждений на 5% при интенсивных технологиях возделывания.

Основные содержание диссертации отражены в следующих работах:

а) в изданиях рекомендованных ВАК РФ:

1. **Болохоев В.С.** Повреждаемость клубней картофеля при уборке / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. Научный журнал. Вып. 10 (178). – Краснообск, октябрь 2007. – С.77-80.

2. **Болохоев В.С.** Проблемы снижения повреждаемости клубней картофеля при уборке / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева // «Вестник КрасГАУ». Вып. 4. – Красноярск, 2009 – С.177-183.

3. **Болохоев В.С.** Проблемы совершенствования картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, В.Л. Цыбиков // Вестник Алтайского ГАУ. – 2010. - №1. – С.67-71.

4. **Болохоев В.С.** / Оценка качества работы картофелекопателя в условиях Восточной Сибири / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, А.В. Захарко // «Техника и технологии инженерного обеспечения АПК» / научно-практический журнал «ВЕСТНИК ИрГСХА». Вып. 42., посвященный итогам III-го регионального научно-производственного семинара «Чтения И.П. Терских», - Иркутск: изд-во ИрГСХА, 2011. – С.83-86.

5. **Болохоев В.С.** / Пути развития конструкций рабочих органов картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, В.В. Тумурхонов // Вестник Восточно-Сибирского государственного технологического университета. Научный журнал. - №1. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012 – С. 161-164.

б) Зарубежные публикации в материалах конференций

6. **Bolochoev V.S.** / The development of tools potato harvesters / A.V. Kuzmin, **V.S. Bolochoev**, E.B. Vambueva, V.L. Tsibikov, A.V. Zacharco / Engineering Problems in Agriculture and Industry June 2-4, 2010. Ulaanbaatar, Mongolia. – С.172-175.

7. **Bolochoev V.S.** / Results of damageability of tubers at harvesting the machine / A.V. Kuzmin, **V.S. Bolochoev**, A.V. Zacharco // Хурэл Тогоот – 2010. Залуу эрдэмтэн, судлаачдын эрдэм шинжилгээний бага хурлын бүтээлийн эмхтгэл. – Улаанбаатар хот, Монголия, 2010 он. – С.168-170.

в) Другие публикации:

8. **Болохоев В.С.** Анализ повреждаемости клубней картофеля при уборке картофелекопателем в РБ [текст] / **В.С. Болохоев**, А.В. Кузьмин // Инновационные технологии в АПК. Сборник докладов региональной научно-практической конференции молодых ученых Сибирского федерального округа с международным участием, посвященной 65-летию Победы в Великой Отечественной войне, Иркутск, Россия. – ИрГСХА, 2010. – С.288-293.

9. **Болохоев В.С.** Анализ результатов повреждаемости клубней картофеля [текст] / Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им.

В.Р. Филиппова Научно-теоретический журнал. - №3 (12). – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, июль-сентябрь 2008 – С. 72-75.

10. **Болохоев В.С.** Исследование повреждаемости клубней картофеля на рабочих органах картофелеуборочных комбайнов в условиях Забайкалья [текст] / Совместная деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей и научных организаций в развитии АПК Центральной Азии: сб. материалов международной научно-практической конференции. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2008. – ч.1. – С.38-44.

11. **Болохоев В.С.** Кинематические параметры определителя повреждаемости клубней картофеля [текст] / **В.С. Болохоев**, А.В. Кузьмин // Актуальные вопросы технического технологического и кадрового обеспечения АПК материалы Международной научно-практической конференции и V-го регионального научно-производственного семинара, посвященные 80-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки и техники РФ Терских Ивана Петровича 25-26 сентября 2012 г. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012 – С. 41-45.

12. **Болохоев В.С.** Сравнительный анализ клубней при механизированной уборке [текст] / **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева // Сборник научных трудов. Серия: Технология, средства механизации и технического сервиса в АПК. Вып.5. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2008. – С. 95-99.

13. **Болохоев В.С.** Исследование процессов повреждения клубней картофеля при интенсивных технологиях возделывания и разработка перспективных схем и рабочих органов картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева, А.В. Захарко // Элементы формирования эффективной инженерно-технической системы АПК. Отчет о НИР (заключительный). / ФГОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова» - № гос. регистрации 01200712169. – Улан-Удэ, 2010. – С.39-55.

14. **Болохоев В.С.** Направления в развитии картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». Вып. 33. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, декабрь 2008 – С.74-80.

15. **Болохоев В.С.** Направления разработки новых картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы междунар. заочной научной конференции (15 октября 2008 г.) – Красноярск: КрасГАУ, 2009 г. – С.105-108.

16. **Болохоев В.С.** Направления совершенствования картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева, А.В. Захарко // Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК: мат-лы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию БГСХА и 50-летию инженерного факультета (9-12 июня 2011г., г. Улан-Удэ) / ФГОУ ВПО «БГСХА им. В.Р. Филиппова». – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2011. – С.48-54.

17. **Болохоев В.С.** Обзор конструкций рабочих органов картофелеуборочных машин / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева, А.В. Захарко // Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК: мат-лы международной научно-

практической конференции, посвященной 80-летию БГСХА и 50-летию инженерного факультета (9-12 июня 2011г., г. Улан-Удэ) / ФГОУ ВПО «БГСХА им. В.Р. Филиппова». – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2011. – С.65-73.

18. **Болохоев В.С.** Определение режимов работы определителя повреждаемости клубней [текст] / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев** // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 8. – Улан-Удэ: изд-во ВСГУТУ, 2012 – С. 74-76.

19. **Болохоев В.С.** Особенности технических средств для оценки повреждаемости клубней / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева // Инновационные технологии в науке и образовании: сборник трудов международной НПК (г. Улан-Удэ, 16-18 сентября 2011г.) / Улан-Удэ: Изд-во БГУ. 2011. – С.88-91.

20. **Болохоев В.С.** Разработка схемы картофелеуборочного комбайна / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев** // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова Научно-теоретический журнал. - №1 (14). Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, Январь – март 2009 г. – С. 148 – 150.

21. **Болохоев В.С.** Результаты повреждаемости клубней картофеля в условиях Республики Бурятия / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 5. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2009 – С.149-153.

22. **Болохоев В.С.** Совершенствование картофелеуборочных машин с целью уменьшения повреждаемости клубней / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев**, Э.Б. Вамбуева, А.В. Захарко // Энергосберегающие и природоохранные технологии для устойчивого развития Байкальского региона – Сборник статей секции международной конференции ЮНЕСКО «Глобальные и региональные проблемы устойчивого развития мира», 8-11 июля 2010г. – Улан-Удэ: Издательство ВСГУТУ, 2010. – С.97-101.

23. **Болохоев В.С.** Совершенствование технических средств для оценки повреждаемости клубней картофеля / А.В. Кузьмин, **В.С. Болохоев** // Сборник научных трудов. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып. 7. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2011. – С. 15-22.

24. Патент на изобретение № 2321851 РФ, МПК G01N 33/02 (2006.01) / Определитель повреждаемости клубней / Кузьмин А.В., Арданов Ч.Е., Вамбуева Э.Б., Хагдыров Г.А., Никишин В.В., **Болохоев В.С.** – № 2005121808/11 (024590); Заявл. 11.07.2005; Оpubл. 10.04.2008. – Бюл. № 10. – 6 с.

25. Патент на изобретение №2324322 РФ, МПК A01D 17/00 (2006.01) / Картофелеуборочный комбайн / Кузьмин А.В., Арданов Ч.Е., Вамбуева Э.Б., Хагдыров Г.А., Никишин В.В., **Болохоев В.С.** – № 2005123661/11 (026647); Заявл. 25.07.2005; Оpubл. 20.05.2008. – Бюл. № 14. – 6 с.

Подписано к печати 22.11.2013. Форм. бум. тип. №1. Формат 60x84 1/16.
Усл.печ. л. 1,33 п.л. Тираж 100 экз. Заказ №1075.

Издательство ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйствен-
ная академия имени В.Р. Филиппова»
670034, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8
e-mail: rio_bgsha@mail.ru