

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи



АБРАМОВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА БОТВОДРОБИТЕЛЯ С
ШАРНИРНЫМИ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность: 05.20.01 Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

Научный руководитель
д.т.н., профессор М.Б. Угланов

Рязань, 2019

АННОТАЦИЯ

Картофель в Российской Федерации по своей народнохозяйственной значимости занимает второе место после зерна.

В общественном секторе картофель возделывается в фермерских, личных и подсобных хозяйствах. В связи с переходом на рыночные отношения в стране резко сократились площади под посадку картофеля, и как следствие, производство картофелеуборочной техники.

Поэтому остро встал вопрос дальнейшего создания и выпуска простейшей картофелеуборочной техники и совершенствования их новых рабочих органов.

Целью диссертационной работы является обоснование параметров ротора ботводробителя с шарнирными ножами различной длины. Такая конструкция обеспечивает копирование картофельных грядок и дает возможность максимального удаления ботвы и растительных остатков. Проведены теоретические исследования модернизированного ботводробителя и обоснованы основные его параметры.

Лабораторно-полевые исследования подтвердили результаты теоретических исследований, а хозяйственные испытания показали значительные преимущества по сравнению с серийным ботводробителем.

Технико-экономический расчет модернизированного ботводробителя БД-4М выявил его преимущества по сравнению с серийным и позволил получить годовой экономический эффект в сумме 19195 руб. на один модернизированный ботводробитель.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 Состояние вопроса о машинах для уборки картофельной ботвы.....	9
1.1 Анализ способов предварительного удаления картофельной ботвы.....	9
1.2 Безподпорный срез свободностоящего стебля.....	19
1.3 Технологический процесс среза	20
1.4 Обзор теоретических исследований динамики ротора и его параметров	22
1.5 Постановка задач исследований	24
ГЛАВА 2 Теоретические исследования ротора ботводробителя с шарнирными режущими элементами.....	26
2.1 Модернизированный ротор ботводробителя с шарнирными режущими элементами	26
2.2 Исследование безподпорного среза ботвы	28
2.3 Динамика шарнирного режущего элемента ботводробителя в поле центробежных сил	31
2.4 Анализ работы ротора ботводробителя с шарнирными режущими элементами в поле центробежных сил	37
2.5 Обоснование основных параметров режущих элементов (ножей) ботводробителя	52
2.5.1 Определение периода колебаний ножей ботводробителя	52
2.5.2 Обоснование основных параметров режущих ножей ботводробителя	54
2.5.2.1 Исследования профиля грядок и определение длины ножей ботводробителя	54
2.5.2.2 Определение массы ножей ботводробителя	57
2.5.2.3 Расчет угла отклонения ножей ботводробителя	58
Выводы по 2-ой главе	59

ГЛАВА 3 Лабораторные исследования ротора ботводробителя с шарнирными режущими элементами	61
3.1 Программа лабораторных исследований	61
3.2 Лабораторные исследования ротора ботводробителя с шарнирными режущими элементами	61
3.2.1 Методика определения усилия среза единичного стебля	61
3.2.2 Определение усилия среза единичного стебля	62
3.2.3 Методика определения линейной скорости ножа ботводробителя при безподпорном срезе единичного стебля	68
3.2.4 Определение скорости безподпорного среза	70
3.2.5 Результаты исследования угла отклонения ножей ботводробителя	71
3.2.6 Экспериментальное определение основных параметров ножей модернизированного ботводробителя БД-4М	73
Выводы по 3-ей главе	76
ГЛАВА 4 Полевые исследования модернизированного ротора ботводробителя с шарнирными режущими элементами	77
4.1 Программа полевых исследований	77
4.2 Объект исследования и техническая экспертиза	77
4.3 Техническая экспертиза	79
4.4 Методика исследования профиля грядок	82
4.5 Методика агротехнической оценки	84
4.6 Полевые испытания модернизированного ботводробителя	85
Выводы по 4-ой главе	86
ГЛАВА 5 Техничко-экономические показатели применения модернизированного ботводробителя БД-4М	87
Выводы по 5-ой главе.....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
ЛИТЕРАТУРА	96
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	116

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Экономика нашей страны во многом зависит от состояния развития сельскохозяйственного производства. Российская Федерация традиционно занимает третье место в мире по производству картофеля, уступая лидерство лишь Китаю и Индии. На ее долю приходится порядка 8% от общего мирового валового сбора картофеля. С 2001 по 2016 год валовые сборы картофеля в России составили 74 млн 426 тыс. тонн [23, 106, 115, 116, 117, 138].

Качество уборки урожая во многом зависит от используемых технологий и применяемой сельскохозяйственной техники [103, 105, 107, 108]. Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, возделываемых в Российской Федерации. Его используют для продовольственных, технических и кормовых целей. Картофель распространен в Российской Федерации повсеместно, в том числе и Нечерноземной зоне [18, 46, 47, 73, 74, 118, 119, 137].

В связи с сокращением производства картофелеуборочной техники в стране резко сократились площади под посадку картофеля.

При уборке картофеля картофелеуборочными машинами и комбайнами производительность их в значительной степени зависит от состояния картофельной ботвы [86, 87, 120, 121]. При сильно развитой и полеглой ботве производительность уборочных машин резко падает из-за забивания рабочих органов, а в отдельных случаях их работа вообще невозможна [25, 26, 27, 56, 75, 76, 95, 134, 137].

Для облегчения работы картофелеуборочных машин и повышения количества и качества урожая картофельную ботву перед уборкой необходимо удалять. Появление первых отечественных машин роторного типа, таких как КИР-1.5, УБД-3, БД-4 дало возможность механизировать процесс уборки картофельной ботвы [20, 28, 29, 34, 56, 140, 141, 142].

В процессе эксплуатации замечено, что роторные машины обладают рядом недостатков, вызванных несовершенством конструкции ротора, его кинематических режимов, недостаточной уравновешенностью и надежностью.

Поэтому исследования, направленные на совершенствование конструкции машин роторного типа, представляются весьма важными и актуальными [11, 38, 40, 41, 42, 43, 77, 78, 132, 143, 144, 145].

Степень разработанности темы

В настоящее время существует острая необходимость выпуска простой и надежной уборочной техники и совершенствования конструкций рабочих органов и технологии уборки урожая для увеличения производительности труда и снижения себестоимости картофеля. Значительный вклад в разработку этих машин внесли: академик Горячкин В.П., профессора: Калимуллин М.Н., Камалетдинов Р.Р., Колчин Н.Н., Мацепуро М.Е., Петров Г.Д., Пшеченков К.А., Старовойтов В.И., Угланов М.Б., Бышов Н.В., Успенский И.А., Бoryчев С.Н. и др.

Исследование выполнено по планам НИОКР по теме «Совершенствование интенсивных технологий и технических средств возделывания, уборки и послеуборочной обработки сельскохозяйственных культур» в соответствии с Постановлением правительства Российской Федерации от 14 июня 2007 г. № 444 «О государственной программе развития сельского хозяйства на 2008–2012 гг.», предусматривающем «...ускоренный переход к использованию новых высокопроизводительных сельскохозяйственных машин и ресурсосберегающих технологий», в соответствии с планом НИР на 2016-2020 г.г. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» и программой по основным научным направлениям Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева.

Цель исследования – обоснование параметров ротора ботводробителя с шарнирными ножами различной длины.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований является технология удаления ботвы ротором ботводробителя с шарнирными ножами переменной длины.

Предметом исследований являются закономерности взаимодействия шарнирных ножей ботводробителя с картофельной ботвой.

Методология и методы исследования. Для достижения поставленной цели проведены теоретические и экспериментальные исследования, лабораторно-полевые испытания модернизированного 4-х рядного ботводробителя. При выполнении теоретических исследований использованы методы математического анализа, элементы классической механики, при выполнении экспериментальной части исследования в лабораторно-полевых условиях применены современные методы.

Научная новизна работы заключается в:

- разработке параметров научно-обоснованной модели ротора повышающих эффективность взаимодействия шарнирных ножей с картофельной ботвой;
- предложены аналитические выражения для определения параметров шарнирных ножей различной длины ботводробителя.

Основные положения, выносимые на защиту:

- конструкция и параметры ротора с шарнирными режущими элементами;
- научное обоснование взаимодействия шарнирных ножей ботводробителя с картофельной ботвой;
- результаты лабораторно-полевых исследований модернизированного ботводробителя;
- технико-экономическая эффективность ботводробителя с шарнирными режущими элементами.

Теоретическая значимость работы. Предложена методика расчета шарнирных элементов ботводробителя в поле центробежных сил.

Практическая значимость работы состоит в том, что использование модернизированного ротора ботводробителя с переменным диаметром и шарнирными режущими элементами позволило улучшить качество дробления ботвы и уборку ботвы в междурядьях.

Рекомендации по обоснованию основных геометрических и кинематических параметров модернизированного ротора ботводробителя приняты в ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области.

Реализация результатов исследования. Модернизированный ботводробитель БД-4М прошел хозяйственные испытания в ООО «Авангард», СПК «Стенькино» Рязанского района. Результаты исследований переданы в Производственное Объединение ЧУП «ТЭНС-ТРАНС» г. Минск для внедрения в производство и используются в учебном процессе ФГБОУ ВО РГАТУ.

Достоверность результатов исследований подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований (расхождение менее 5%) и апробацией в производственных условиях.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены на Национальных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО РГАТУ «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России» (2018 г.) и «Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса» (2019 г.).

Личное участие соискателя в получении результатов состоит в формулировке цели и задачи исследований, проведение теоретических и экспериментальных исследований, написание научных статей, внедрение полученных результатов в производство.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 18 научных работах, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК. Получено 3 патента РФ на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 162 наименований и 17 страниц приложений.

Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, иллюстрирована 24 рисунками, содержит 16 таблиц.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА О МАШИНАХ ДЛЯ УБОРКИ КАРТОФЕЛЬНОЙ БОТВЫ

1.1 Анализ способов предварительного удаления картофельной ботвы

При уборке картофелеуборочными машинами и комбайнами производительность их в значительной степени зависит от состояния картофельной ботвы. При сильно развитой и полёглой ботве производительность уборочных машин резко падает из-за забивания рабочих органов, а в отдельных случаях их работа вообще невозможна [58, 147, 148, 149, 150].

В картофелеуборочных комбайнах в их конструкции имеются рабочие органы по удалению картофельной ботвы и растительных остатков. Однако, они работают неудовлетворительно [49, 50, 51, 52, 125, 132, 151, 152, 153]. Это видно из приведенных данных (рисунок 1.1).

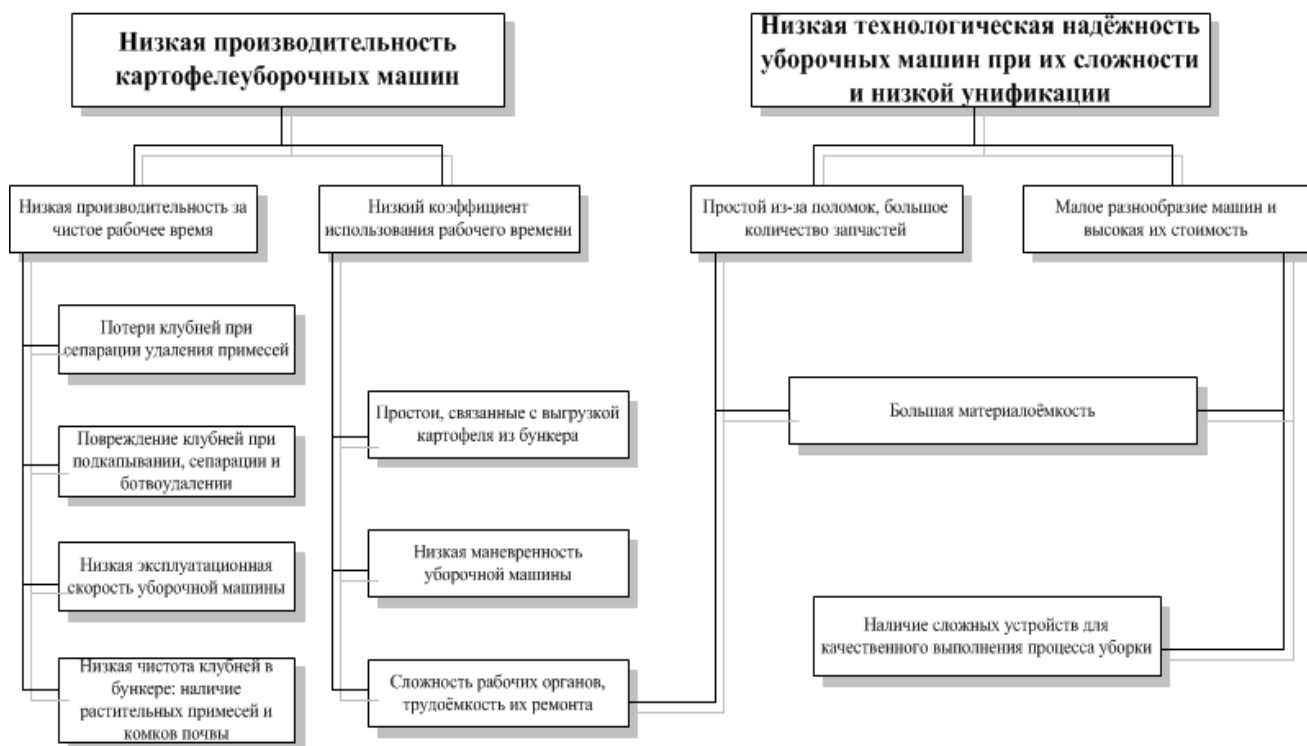


Рисунок 1.1 – Систематизация современных проблем, связанных с ботвоудалением

Поэтому в настоящее время все большее применение находят машины по предварительному удалению ботвы [55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 155, 156, 157, 158].

С развитием картофелеуборочной техники совершенствуется технология уборки, которая включает обязательное удаление ботвы картофеля и растительных остатков.

К настоящему времени при комбайновой уборке определилось два направления по уборке ботвы:

- предуборочное удаление ботвы с поля;
- отделение ботвы от клубней в картофелеуборочных комбайнах.

Известны два способа предуборочного удаления ботвы: механический и химический. Механический способ основан на непосредственном воздействии рабочих органов на ботву, причём результаты воздействия сказываются незамедлительно. Механическое ботвоудаление можно разделить на три вида: резание, дробление, теребление. При первых двух способах удаляется надземная часть ботвы, что значительно облегчает работу картофелеуборочного комбайна. При резании и дроблении выше энергетические затраты, однако при тереблении длины стеблевой ботвы она не разрушается, а увядает, что затрудняет работу картофелеуборочных машин. В то же время, удаление ботвы способом теребления представляет определённый интерес, так как при этом способе нарушается связь между клубнями и ботвой, и ботва полностью удаляется. Однако до сего времени не создано ботвоудалителя теребильного типа, надёжно работающего в хозяйственных условиях [53, 54, 58, 84, 85, 106, 125, 160, 161, 162].

Химический способ основан на опрыскивании ботвы химическими препаратами – десикантами. По своему характеру этот способ воздействия даёт результат через какой-то промежуток времени.

Предуборочное сжигание ботвы химическими препаратами получило распространение за рубежом. Так, например, в США удалению ботвы химическим способом перед уборкой придается очень большое значение [118, 122]. Фермеры считают, что дополнительные затраты труда и средств, вложенные в

проведение этой операции, в дальнейшем окупаются благодаря более производительной работе картофелеуборочных комбайнов.

В нашей стране разработкой вопросов десикации ботвы занимались несколько организаций. Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева начал проводить испытание различных веществ с целью выявления десикантов ботвы картофеля с 1955 года. Перспективными оказались только монохлорацетат натрия, этанол и хлорат магния [118, 119].

В 1959 году испытания десикантов проводились на ранних и средне-позднеспелых сортах картофеля. Опыты показали, что действие десикантов сильнее проявляется на ранних сортах.

В результате исследований, проведенных ВИСХОМ совместно с ТСХА в 1959-1960 годах, были испытаны гербициды сплошного действия. На основе проведенной работы было установлено, что лучшие результаты по степени высушивания листьев и стеблей картофельной ботвы дают натриевые соли бутофена и изофена в однопроцентной концентрации при расходе 10 кг/ га, а также пентохлорфенолят натрия в двух- и трёхпроцентной концентрации [119].

В итоге всей проведенной работы по испытанию различных химических препаратов в качестве десикантов ботвы картофеля использовались следующие, наиболее перспективные, препараты:

- натриевая соль 4,6 – динитро 2 – вторизопропилфенол;
- монохлорацетат натрия; бутиловый аэрофлот; смесь этанола с сернокислым аммонием (1:5).

Ботва картофеля на опытных делянках обрабатывалась водными растворами десикантов опрыскивателем ОНК – Б с картофельной штангой (рисунок 1.2).

В результате проделанной работы было установлено, что рост ботвы при обработке десикантами прекращается до её естественного отмирания; почти в два раза уменьшится вес ботвы за счет высыхания листьев. Благодаря этому проглядываются рядки картофеля, что значительно облегчает вождение картофелеуборочного агрегата. Однако, недостатком всех испытаний

десикантов является то, что они не вызывают усыхания стебля, что в дальнейшем препятствует эффективной сепарации почвенно-картофельного во-роха на рабочих органах картофелеуборочных машин [122].



Рисунок 1.2 – Химический способ удаления картофельной ботвы

В 1954 году своими изобретениями американец Лонделл положил начало бурному развитию уборочных машин роторного типа. В настоящее время для удаления ботвы используются рабочие органы роторного типа с шарнирными режущими элементами, которые или устанавливаются как рабочий орган впереди комбайна, или выполняются в виде отдельной машины [121].

Широкое распространение такие машины получили в Англии, США, Германии, Польше и др. [42]. Современная тенденция развития машин роторного типа направлена на создание универсальных машин, работающих на уборке различных культур. В качестве примера можно назвать английскую прямоточную машину роторного типа марки «CLOOSTER» [114]. Она предназначена для уборки разнотравья, люцерны, картофельной ботвы, вики, кукурузы и других силосных культур. Основным рабочим органом машины является быстро вращающийся ротор, имеющий 40 шарнирно закрепленных ножей,

установленных в четыре ряда по длине вала. Каждый ряд смещён относительно друг друга на 90 градусов. Таким образом, режущий аппарат за один оборот производит четыре среза. Ширина захвата машины 1,02 м (40 дюймов), производительность 15,1 т/ч. Ротор вращается со скоростью 1500... 1600 мин⁻¹. В процессе уборки трактор, силосоуборочная машина и прицепная тележка движутся в линию друг за другом [104].

В 1995 году Ланделл [82], добиваясь работоспособности машины на высокостебельных культурах, разработал приспособление ручьевого типа и тем самым улучшил конструкцию машины. Дальнейшие его работы были направлены на изыскание рациональных режущих элементов.

Помимо широкоуниверсальных машин роторного типа стали выпускаться узкоспециализированные. Так, например, в США была выпущена машина марки 2 ВР-80, которая используется для удаления картофельной ботвы перед уборкой. Её рабочим органом является горизонтальный вал, на котором радиально укреплены молотковые рабочие органы, располагающиеся над центральной частью грядки и цепные, расположенные по бокам. Эти элементы неодинаковы по длине, что позволяет копировать поперечный профиль каждой грядки. Фирма «Фаршхенд» выпускала дробитель роторного типа, аналогичный рассмотренному выше.

Начиная с 50-х годов XX века, в Советском Союзе наблюдалось быстрое развитие отечественных машин роторного типа [125]. Первой в качестве примера роторной машины с выгрузкой массы дополнительным вентилятором-швырлякой, можно рассмотреть косилку-измельчитель двойного действия марки КДИ-1,8 со смещенным прицепом конструкции, разработанную Житомирским заводом «Автозапчасть». Эта косилка была предназначена для уборки многолетних сеяных трав, картофельной и свекольной ботвы.

Основной рабочий орган – ротор с Г-образными шарнирно закрепленными ножами. Частота вращения ротора 1500 мин⁻¹. Срезанная и дробленая ботва (масса) шнеком подается в измельчитель – швырляку с шестью ножами и

далее через направляющую поворотную трубу транспортируется в прицепную тележку [11, 125].

Комбайн КИР-1,5 (рис. 1.3), разработанный Запорожским ГСКБ по зерноуборочным машинам, является типичной прицепной машиной роторного типа. Ширина захвата 1,5 м и агрегатируется с колёсными тракторами марки «Беларусь». Ротор комбайна КИР-1,5 имеет прямоугольные лопаткообразные режущие элементы, которые шарнирно подвешиваются к валу ротора. Число оборотов ротора 1500 в минуту [125]. Кроме основного варианта, работающего на уборке низко стебельных культур, данная машина имеет также приспособление для высокостебельной кукурузы [89, 92, 110, 111, 112].



Рисунок 1.3 – Роторный комбайн КИР - 1,5

Кроме принятых обычных схем машин роторного типа рассмотрим машину УБД-3, разработанную в ГСКБ г. Рязани [124]. В отличие от всех существующих машин роторного типа, которые измельчённую массу, как правило, собирают в прицепную тележку или рядом идущий грузовой транспорт, эта машина представляет несколько изменённую схему технологического процесса. Она имеет бункер, служащий ёмкостью для сбора массы. Преимущество этой технологической схемы заключается в том, что

агрегат состоит только из трактора и машины. Это не требует постоянного движения прицепной тележки или дополнительных транспортных средств (автомшины, трактора с прицепом), что позволяет не заминать грядки убираемой культуры и не так сильно уплотняет междурядья, в то время как прицепная тележка или какое-либо другое транспортное средство, как правило, не вписываются в междурядья. Особенно это очевидно при уборке картофельной ботвы.

В ГСКБ ПО «Рязсельмаш» г. Рязани была разработана полунавесная ботвоуборочная машина УБД-3М. Она предназначена для уборки зелёной картофельной ботвы с поля, что способствует облегчению работы картофелеуборочным машинам. УБД-3М агрегатируется с трактором марки «Беларусь» и обслуживается одним трактористом. Рабочая ширина захвата 2,15 м, производительность 1,2 га/ч, масса машины 1500 кг. Основной рабочий орган – ротор с 30-тью шарнирно закрепленными режущими элементами. Расположены они на валу по винтовой линии. Режущий элемент состоит из державки с прикрепленным на её конце стрельчатым ножом. Частота вращения вала составляет $20,83 \text{ с}^{-1}$ (1250 об/мин^{-1}). Принцип работы машины имеет следующие технологические элементы. Зеленая масса срезается, дробится и подается в шнек с помощью режущих элементов ротора. Шнек сужает измельченную массу и транспортирует в окно швырялки – вентилятора, лопасти которой через трубу направляют её в бункер. По мере наполнения бункера масса выгружается в транспортные средства или на поворотах, вне посадок картофеля, при коротких гонах [86, 87, 88, 89, 124].

Вопросы теребления ботвы изучались на протяжении ряда лет ВИС-ХОМом, ВИМ, НИИКХ, ГСКБ г. Рязани, и другими организациями [82]. Ещё в 1952 году под руководством Кусова Т.Т. была проделана работа по исследованию теребления ботвы, в результате чего был создан аппарат АБН-2.

Этот аппарат предназначен для удаления ботвы с грядок картофельного поля методом теребления одиночными стеблями. За один проход аппарат теребит ботву с двух грядок и одновременно отбрасывает её в сторону

перпендикулярно своему движению. Рабочими органами аппарата являются: бесконечный ремень с закрепленными на нем шипами и два ботвоотбрасывающих диска, жестко закрепленных на валу аппарата. В результате опытных полевых испытаний был получен положительный эффект. В некоторых случаях теребления удаление ботвы картофеля достигало 90%. После этого была выпущена опытная партия таких машин, однако они не получили распространения из-за неработоспособности рабочих органов в полевых условиях, которые часто забивались ботвой.

В это же время в ВИСХОМе была разработана и изготовлена другая ботвотеребившая машина Т-2. Основными рабочими органами данной установки являются лифтеры и клиноременный теребивший аппарат. Проведенные испытания показали, что данная установка являлась неработоспособной.

В 1961 году эти работы были продолжены совместно ВИСХОМом и ГСКБ г. Рязани, что позволило разработать и испытать цепной ботвотеребиватель ПБ-1 и дисковый ПБ-2.

Проведенные в то время сравнительные исследования показали, что все ботводробители обладали следующими недостатками [35, 36, 37, 125, 159]:

- все виды лифтеров не дают хорошего подвода стеблей ботвы к теребившим органам;
- недостаточное зажатие стеблей, что вызывает большой процент очесывания листьев и оставление неудаленных стеблей на грядке;
- забивание заклинивающей щели картофельной ботвой;
- дают недостаточный процент теребления ботвы в процессе эксплуатации.

Таким образом, ещё не создано работоспособного теребившего органа, который давал бы необходимый процент теребления.

Современная тенденция развития машин роторного типа направлена на создание высоконадежных конструкций машин, работающих на повышенных скоростях и с большой производительностью. С этой целью исследователи

работают над дальнейшим совершенствованием кинематического режима ротора, нахождением оптимальных параметров ротора и режущих элементов. Кроме того, конструкторская мысль направлена на создание высоко универсальных машин, работающих на уборке различных культур и выполняющих ряд сельскохозяйственных операций за счет наличия быстросъёмных приспособлений. Это стремление уже нашло выражение в ряде зарубежных и отечественных машин.

Так, в 1989 году ПО «РЯЗСЕЛЬМАШ» совместно с АООТ ГСКБ г. Рязани были сконструированы роторные машины с переменным диаметром резания, предназначенные для удаления и измельчения картофельной ботвы: БД-2-70, БД- 4-70, БД-6-70 (рисунок 1.4, 1.5, 1.6 соответственно).



Рисунок 1.4 – Ботводробитель БД-2-70

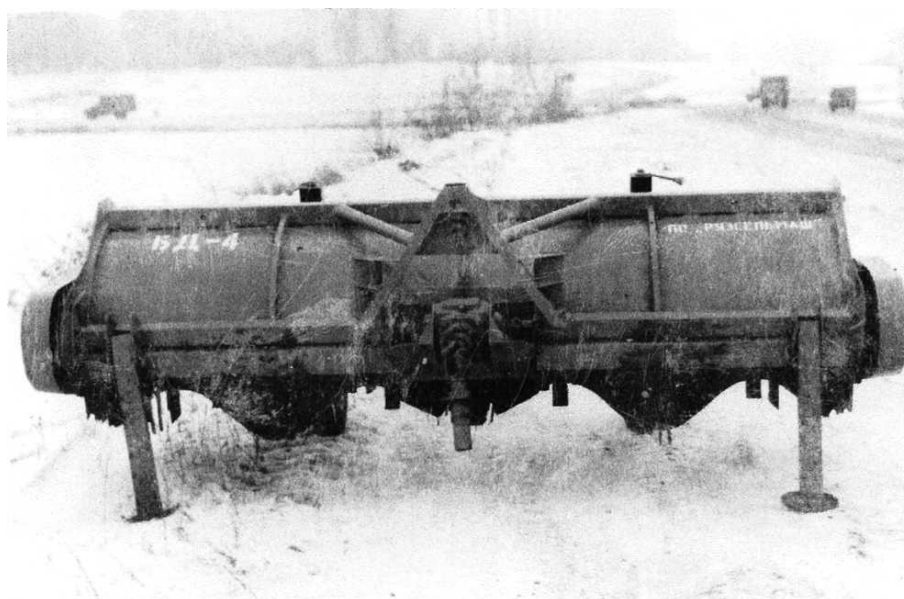


Рисунок 1.5 – Ботводробитель БД-4-70



Рисунок 1.6 – Ботводробитель БД-6-70

Основным рабочим органом этих машин является ротор с режущими шарнирно закрепленными элементами, которые удаляют картофельную ботву и различные сорные растения, дробят ее и бросают измельченную ботву на поле.

Анализируя способы удаления картофельной ботвы, можно сделать следующие выводы:

- до настоящего времени не создано ботвоудалителя бережливого типа, надежно работающего в хозяйственных условиях;
- недостатком всех испытанных десикантов является то, что они не вызывают достаточного усыхания стебля;
- на сегодняшний момент самым надежным способом удаления картофельной ботвы является механический, путем её дробления ротором, с одновременным сбором измельченной массы в бункер или с выбросом раздробленной массы прямо на поле [17].

Практика показала, что в процессе эксплуатации роторные машины обладают рядом недостатков, вызванных несовершенством конструкции ротора, его кинематических режимов и рядом других недостатков [127].

1.2 Безподпорный срез свободностоящего стебля

Принцип безподпорного среза ботвы, осуществляемый ротором, известен давно, поэтому многие исследователи изучали данный вопрос и вывели ряд теоретических положений по определению необходимой скорости среза стебля без подпора.

Академик В.П. Горячкин [42] дал основное направление при определении скорости безподпорного среза и массы стебля, участвующей в срезе. Он доказал, что не вся масса стебля участвует в срезе, а только часть её, которая изменяется по гиперболе 3-го порядка в функции места удара.

Формулы по определению скорости безподпорного среза не могут быть применены для определения угловой скорости ротора, так как в них отсутствуют необходимые параметры ротора.

Вопросы среза изолированного стебля без противорежущей части исследовал И.Ф. Василенко [39]. Применительно к режущему аппарату с возвратно-поступательным движением он вывел аналитическую зависимость для определения необходимости выбора нужной скорости среза.

Этим вопросом занимались и другие исследователи, такие как профессор Е.М. Гутьяр [45], академик Ю.А. Ишлинский, Е.С.Босой [46], Ю.Ф.Новиков [96, 109].

Ни одна из выведенных зависимостей не может быть использована для определения скорости среза применительно к ротору из-за отсутствия связи между массой стебля, участвующей в ударе, массой режущего элемента и различия конструкции аппарата косилочного типа и ротора. Так, например, Б.А. Штампель [125], проверяя теории упомянутых выше авторов применительно к роторной машине с горизонтально вращающимся ротором, установил, что скорость среза стебля V м/с, подсчитанная теоретическим путем, соответствует такой экспериментальной, которая достаточна для среза 30-50 % травостоя.

С развитием машин роторного типа некоторые исследователи проводят научные работы по выявлению скорости среза стебля без противорежущего элемента. Инженер В.А. Константинов [80, 81], исследуя скорость резания свободного стебля, обосновал необходимую скорость среза кукурузного стебля. Он утверждал, что в роторной косилке-измельчителе КИР-1,5 происходит перерезание стебля, не имеющего никакой опоры, то есть находящегося во взвешенном состоянии. И, исходя из этого предположения, он определил скорость среза. Однако процесс среза в роторной машине протекает далеко не так, как его представлял В.А.Константинов.

Скоростная съемка процесса среза показала, что весь процесс может быть разделен на три фазы:

- срез стебля, закрепленного нижним концом в почве;
- измельчение срезанных стеблей в приемной части ротора;
- перерезание стебля, не имеющего опоры, то есть когда он находится во взвешенном состоянии.

Таким образом, он рассмотрел только часть процесса среза.

Сделанное допущение о том, что нож жестко связан с валом ротора и имеет постоянную скорость, ни в коей мере не оправдывается, в виду того, что шарнирно соединенный нож во время среза приобретает колебательное движение и поэтому его абсолютная скорость значительно изменяет свою величину по формуле 1.1.

$$\bar{V}_{абс.} = \bar{V}_{пер.} \pm \bar{V}_{отн.} \quad (1.1)$$

1.3 Технологический процесс среза

Вопросам кошения сельскохозяйственных культур посвящено много научно-исследовательских работ, особенно по рациональному обоснованию конструкции режущей части ножа и технологии, согласно которым, срез растений происходит аналогично срезу режущим аппаратом сенокосилок.

Поэтому, основные положения теории режущего аппарата сенокосилок могут быть применены для обоснования режущей части шарнирного элемента. Ниже приводится краткий анализ работ по исследованию вопросов резания растений.

Профессор Л.П. Крамаренко [125] исследовал величину усилия, необходимого для среза стеблей и зависимости этого усилия от характера среза. Он установил, что косой срез во всех его проявлениях (косой, наклонный и наклонно-косой) с точки зрения усилия и работы, затрачиваемых при его проведении, значительно выгоднее, чем срез торцевой [83].

В теории резания ножами соломорезки, силосорезки академик В.П. Горячкин [42] показал, что процесс резания может развиваться двояким путем:

- при помощи перемещения клина только по направлению разреза;
- при помощи перемещения клина по двум взаимно перпендикулярным направлениям (по направлению разреза и перпендикулярно к нему) [49].

В первом случае процесс называется рубкой и основан на внедрении клина в толщу материала, начальном уплотнении его щеками клина и последующем отрывании и разрушении.

Во втором случае также необходимо нормальное давление, но менее значительно, чем в первом, а резание значительно облегчается скользящим движением.

Таким образом, при проектировании ножа целесообразно с точки зрения затрат энергии использовать срез со скольжением, т.е. нож стрельчатого типа.

Профессор А.Н. Карпенко исследовал влияние характера режущей грани сегмента и толщины лезвия на усилия и качество среза. Для определения вида лезвия сегмента, наиболее эффективного для среза стебля (гладкое, с насечкой сверху или с насечкой снизу) были произведены многочисленные опыты в лабораторных условиях со статистическим и динамическим срезами, а также полевые испытания. Производя срез камыша зеленого, соломы овсяной, ржи зеленой и др., профессор А.Н. Карпенко установил, что по затратам усилия для среза стебля наиболее выгодным является гладкое лезвие сегмента.

При исследовании изнашивания трех видов сегментов установлено, что насеченные сверху сегменты наименее подвержены износу, причем в процентном отношении износ составлял в среднем 3%; гладкие - 25%; и наибольший износ у сегментов, имеющих насечку снизу, он достигал 30%. Что касается состояния режущей кромки, то у сегментов насеченных она в большинстве случаев не повреждалась. У сегментов гладких были замечены щербинки. Однако следует отметить, что один из главных недостатков сегментов с насечкой – невозможность восстановления их лезвия. Из всего этого следует, что наиболее выгодным является гладкий сегмент.

Изучая влияние угла заточки, А.Н. Карпенко доказал, что с уменьшением угла заострения режущей части уменьшается и сила для среза стебля. Для эксперимента было взято четыре сегмента с углами 90° , 25° , 18° , 15° . Исследование проводилось на установке в полевых условиях. В результате было выявлено, что по мере уменьшения угла заточки сегмента уменьшается тяговое сопротивление машины.

Заметна также тенденция уменьшения высоты пожнивья, что указывает на уменьшенное выкалывание стеблей из ножниц режущей пары. Процент чистых срезов увеличивается. Из сказанного следует, что угол заточки должен быть как можно меньшим, но этому противоречат соображения эксплуатационного характера: тонкое лезвие сегмента будет быстрее изнашиваться или выкрашиваться. Принимая во внимание проведенный анализ, он рекомендует брать угол заточки равным 18° .

1.4 Обзор теоретических исследований динамики ротора и его параметров

Профессор М.Б. Фабрикант исследовал динамику ротора молотковой кормодробилки [42]. Он доказывал, что ротор с шарнирно подвешенными молотками во время работы превращается как бы в жесткую систему. Чтобы нарушить жесткость системы, необходимо извне приложить к молотку такую

силу T , которая преодолела бы силу трения F в шарнире и окружное усилие P , которое действует на молоток.

Здесь он необоснованно ввел окружное усилие P , действующее на молоток и влияющее на его устойчивость. Кроме того, для вывода условия устойчивости молотка им использовано уравнение статики, что ни в коей мере не может быть принято для динамической системы.

Профессор М.М. Горнет рассматривал движение молотка дробилки под действием конечных сил. После того как молоток, ударившись о зерно, получит некоторую начальную относительную угловую скорость и при этом отклонится на незначительный угол меньше угла устойчивости (когда момент трения $M_{тр}$ в шарнире равен центробежному моменту $M_{ц}$, приложенному к молотку), возвращению молотка в радиальное положение будет препятствовать сила трения. Он говорил, что в отдельных случаях $M_{тр}$ может превосходить более чем в 100 раз $M_{ц}$, молоток при этом отклонится на угол $\alpha = 3^\circ$ и останется в таком положении.

Профессор В.А. Горанский, проводя анализ молотковой кормодробилки, указывает, что во время работы угловые скорости от удара к удару будут изменяться, но наступит такой момент, когда процесс работы кормодробилки установится, и тогда молоток будет иметь одинаковую угловую скорость до и после удара. В этом случае $\varphi^{\sigma_{k+1}}$ будет равна W_k . Результаты скоростной киносъемки не подтверждают этого предположения, поэтому данная теория не может быть положена в основу обоснования ротора.

Позднее вопросами исследования динамики ротора с шарнирно-закрепленными элементами применительно к роторным машинам, занимались В.А. Константинов [80, 81] и Л.И. Комаров [79].

В.А. Константинов, исследуя относительное движение режущего элемента, составил уравнение движения без учета силы среза. В действительности же только под действием силы среза происходит его

колебание, а основная формула периода колебания выведена из условия малых колебаний.

Л.И. Комаров, анализируя динамику ротора, составил дифференциальное уравнение относительно движения режущего элемента. Но в это уравнение также не вошла внешняя сила, приложенная к режущему элементу во время среза. Поэтому теория исследования вышеуказанных авторов мало чем отличается от ранее рассмотренных, и является недостаточной для полного анализа движения центробежных сил.

Профессор М.Б. Угланов исследовал динамику ротора с шарнирными элементами [125]. Им составлено дифференциальное уравнение относительного движения режущего элемента с учетом силы среза.

Применив метод исследования на фазовой плоскости относительного движения шарнирного режущего элемента, провел качественный и количественный анализ. Им обоснованы:

- связь между параметрами ротора и частотой нанесения удара;
- конструктивная длина режущего элемента и необходимая масса;
- рассмотрены вопросы статической и динамической балансировки ротора.

Разработанная теория является актуальной, но она не может быть полностью использована при обосновании параметров ротора с переменным диаметром резанья.

1.5 Постановка задач исследований

На основании исследования научно-производственного опыта механического способа предуборочного удаления ботвы, установлено, что все рекомендуемые параметры ботвосрезающих рабочих органов ботводробителей в основном выбирают из конструктивных соображений не учитывая при этом величины длин резания ротором ботводробителей, расстановку режущих элементов по валу и некоторые другие их параметры, которые на наш взгляд

обеспечивали бы копирование картофельных грядок и давали бы возможность максимального удаления ботвы и растительных остатков.

На основании вышеизложенного материала в первой главе, и исходя из поставленной цели, сформулированы задачи исследований:

- обобщить результаты научных исследований способов и конструкций ботвоуборочных рабочих органов;
- теоретически и экспериментально обосновать параметры ротора ботводробителя с шарнирными ножами различной длины для надежного среза растений;
- провести производственные испытания модернизированного ботводробителя в полевых условиях;
- определить технико-экономическую эффективность применения модернизированного ботводробителя с шарнирными режущими элементами.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОТОРА БОТВОДРОБИТЕЛЯ С ШАРНИРНЫМИ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

2.1 Модернизированный ротор ботводробителя с шарнирными режущими элементами

При уборке картофелеуборочными машинами и комбайнами производительность их в значительной степени зависит от состояния картофельной ботвы. При сильно развитой и полёглой ботве производительность уборочных машин резко падает из-за забивания рабочих органов, а в отдельных случаях их работа вообще невозможна.

Поэтому для облегчения работы картофелеуборочных машин картофельную ботву перед уборкой необходимо удалять. Но процесс уборки ботвы весьма трудоёмкий, включающий ряд операций, таких как срез, сгребание и транспортировку, каждая из которых выполняется отдельной машиной [11, 13].

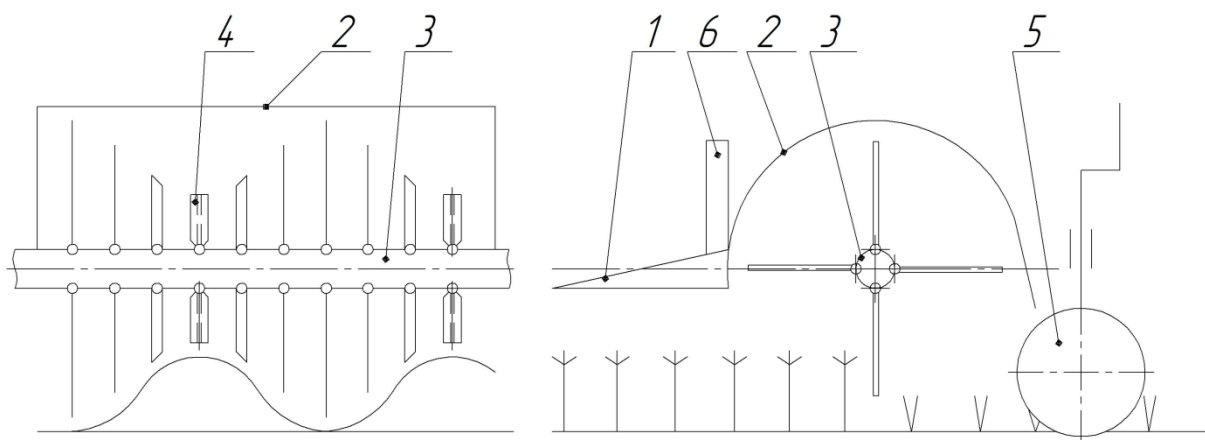
В настоящее время из отечественных машин в основном применяются ботводробители КИР-1.5, УБД-3, БД-4, которые имеют ротор с постоянным диаметром резания. В процессе эксплуатации замечено, что эти машины обладают рядом недостатков, одним из которых является невозможность срезания ботвы и растительных остатков в междурядьях картофельных грядок [129, 131].

В результате при уборке картофеля копателями и картофелеуборочными комбайнами забиваются основные рабочие органы, что приводит к снижению производительности технологического процесса.

Мы предлагаем модернизированный ботводробитель БД-4М, с переменным диаметром резания [2, 13, 14] (рисунок 2.1).

Технологический процесс протекает следующим образом: при движении агрегата ротор (3) с шарнирными ножами (4) вращается от ВОМ трактора. Ножи (4) срезают, измельчают ботву и бросают её на поле. Высота среза

регулируется опорным колесом (5), ширина захвата машины $B_m = 2,8$ м, машина убирает ботву с 4-х рядков [5, 13, 102].



1 – привод; 2 – кожух; 3 – ротор с шарнирными ножами; 4 – шарнирный нож; 5 – опорное колесо; 6 – навесное устройство

Рисунок 2.1 – Схема четырехрядной ботвоуборочной машины (патенты РФ на полезные модели №160763, №162404, №186794) [99, 100, 101]

В разработанной нами конструкции ботвоуборочной машины БД-4М принимаем 4 размера ножей. Расстановку ножей проведём по схеме, представленной на рисунке 2.2.

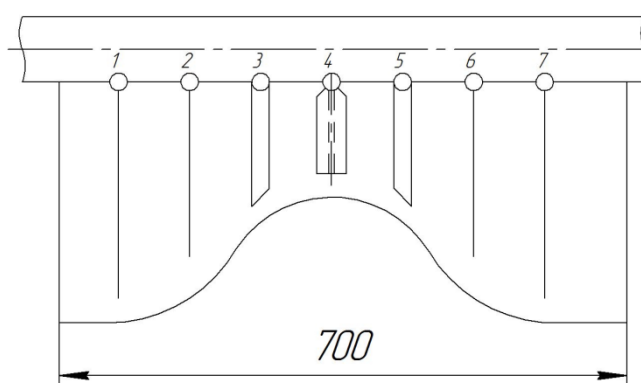


Рисунок 2.2 – Схема расположения ножей на валу

Ножи 1, 2, 3 имеют плоскую форму, предназначены для дробления картофельной ботвы и растительных остатков в междурядьях обрабатываемых

грядок. Каждому такому ножу соответствует аналогичный нож, расположенный под углом 180° к первому [5, 13, 14].

Нож 4 лопаткообразный в процессе работы проходит над картофельным гнездом и обеспечивает срезание ботвы над клубневым гнездом. Все ножи изготавливаются из полосовой стали марки Сталь 65Г.

Таким образом, использование модернизированного ротора с переменным диаметром резания и шарнирными режущими элементами позволяет улучшить их производительность, качество дробления и уборку ботвы в междурядьях картофельных грядок и значительно повысить эффективность комбайновой уборки.

2.2 Исследование безподпорного среза ботвы

Предварительное удаление картофельной ботвы является неотъемлемой операцией при уборке картофеля комбайнами. Картофельная ботва удаляется за 10...12 дней до начала уборки. Это позволяет: облегчить работу комбайнов, резко снизить повреждения картофеля и повысить невосприимчивость клубней к болезням и длительному хранению.

Известны три способа удаления ботвы: химический, теребивильный и механический.

Самым надежным способом удаления картофельной ботвы является механический, путем дробления ее роторными машинами со сбором измельченной массы (КИР-1,5 Б) или разбрасыванием по полю (БД-4).

В процессе эксплуатации замечено, что роторные машины обладают рядом недостатков (некачественный срез, повышенные затраты энергии и др.), вызванных несовершенством конструкции ротора, его кинематических режимов, недостаточной уравновешенностью и рядом других.

Основными параметрами ротора с шарнирными элементами являются линейная скорость ножа V_n при безподпорном срезе, переменный диаметр резания, длина режущих элементов, частота вращения ротора.

Линейная скорость ножа V_H при бесподпорном срезе может быть определена из следующих соображений.

Рассмотрим срезание свободно стоящего стебля без опоры. Его можно представить как консольную балку, жестко закрепленную в основании и подвергающуюся действию силы среза R_C ножа со скоростью на высоте H (рисунок 2.3) [30, 31, 32, 33, 94].

При ударном действии ножа с усилием резания R_C в стебле возникают усилия сопротивления изгибу $P_{из}$ и силы инерции $P_{ин}$. Условием среза стебля будет:

$$R_C < P_{из} + P_{ин}, \quad (2.1)$$

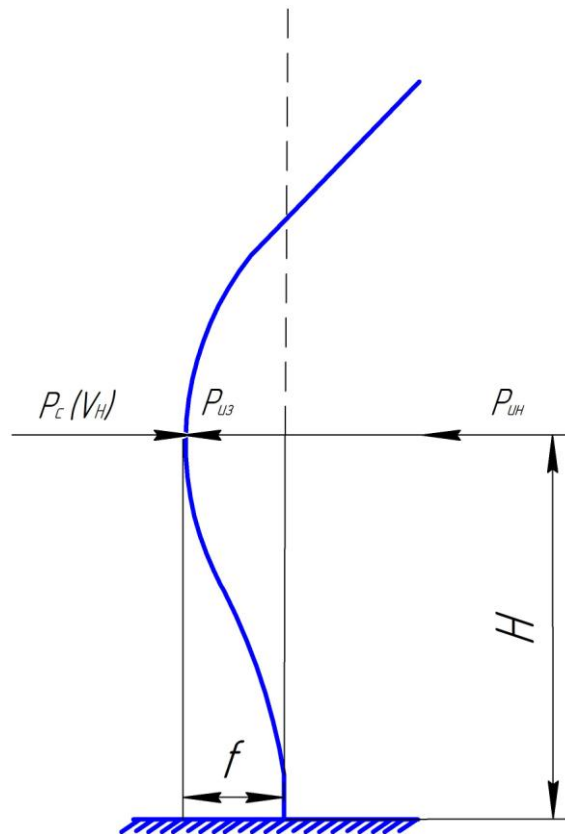


Рисунок 2.3 – Схема действия сил на стоящий стебель

За время удара Δt режущего ножа стебель отклонится на величину f – стрелы прогиба стебля, которая равняется:

$$f = \frac{R_C \cdot H^3}{3 \cdot E \cdot J}, \quad (2.2)$$

где E – модуль упругости;

J – момент инерции сечения стебля;

H – высота среза.

Откуда силу сопротивления изгибу найдем как:

$$P_{из} = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot J}{H^3}, \quad (2.3)$$

Найдем силу инерции:

$$P_{ин} = m \cdot j, \quad (2.4)$$

где m – масса стебля;

j – среднее ускорение ножей.

Среднее ускорение ножа будет равно:

$$j = \frac{V_H - V_0}{\Delta t}, \quad (2.5)$$

где $V_0 = 0$, то

$$P_{ин} = m \cdot j = \frac{m \cdot V_H}{\Delta t}.$$

Стрела прогиба определяется как:

$$f = V_H \cdot \Delta t,$$

где Δt – время удара.

Условие среза стебля будет:

$$\begin{aligned} R_c < P_{из} + P_{ин} &= \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot J}{H^3} + \frac{m \cdot V_H}{\Delta t} = \frac{3V_H \cdot \Delta t \cdot E \cdot J}{H^3} + \frac{m \cdot V_H}{\Delta t} = \\ &= V_H \cdot \left(\frac{3 \cdot \Delta t \cdot E \cdot J}{H^3} + \frac{m}{\Delta t} \right), \end{aligned} \quad (2.6)$$

Отсюда скорость бесподпорного среза должна быть:

$$V_H \geq \frac{P_c}{\frac{3 \cdot \Delta t \cdot E \cdot J}{H^3} + \frac{m}{\Delta t}}, \quad (2.7)$$

Расчеты и практическая проверка показала, что скорость бесподпорного среза для толстых стеблей должна быть 25...30 м/с, для тонких стеблей 40...50 м/с. Для более качественного удаления ботвы, особенно полегло в

междурядье, диаметр ротора должен быть переменным. Параметры ротора определяем исходя из следующих соображений. На рисунке 2.4 показан ротор с переменным диаметром резания.

2.3 Динамика шарнирного режущего элемента ботводробителя в поле центробежных сил

Нами предложен новый вариант ротора, шарнирно закрепленными на нем ножами и переменным диаметром резания. Такая конструкция обеспечивает копирование картофельных грядок и дает возможность максимального удаления ботвы и растительности даже в междурядьях. Во время работы машин, под действием импульсивного момента среза режущие элементы отклоняются на различные по величине углы от радиального положения. После завершения одного оборота режущие элементы должны занять исходные радиальные положения, но режущие элементы на предложенном роторе имеют различную длину и массу. Поэтому с целью определения оптимальных параметров ножей и ротора рассмотрим динамику шарнирных элементов в поле центробежных сил. Схема ротора представлена на рисунке 2.4.

Для этого составим дифференциальное уравнение движения системы по методу Лагранжа, состоящий из ротора и режущего элемента. Выберем неподвижную систему координат XOY , проходящую через центр вращения ротора и подвижную систему координат X_1OY_1 , вращающуюся вместе с ротором и проходящую через центр вращения ротора и ось подвеса режущего элемента [3, 93, 131].

К системе приложим постоянно действующий момент двигателя $M_{дв}$ и момент сопротивления M_c . Режущий элемент под действием силы среза $P_{ср}$ отклонен на угол α , кроме того на него действует сила веса P .

Силой трения в шарнире мы пренебрегаем потому, что она, во-первых, является величиной весьма малой по сравнению с центробежной и, во-вторых, во время работы срез растений режущим элементом производится всякий раз

после того, как ротор совершит один оборот и действие этой силы за это время несущественно отразится на колебании режущего элемента [4, 59].

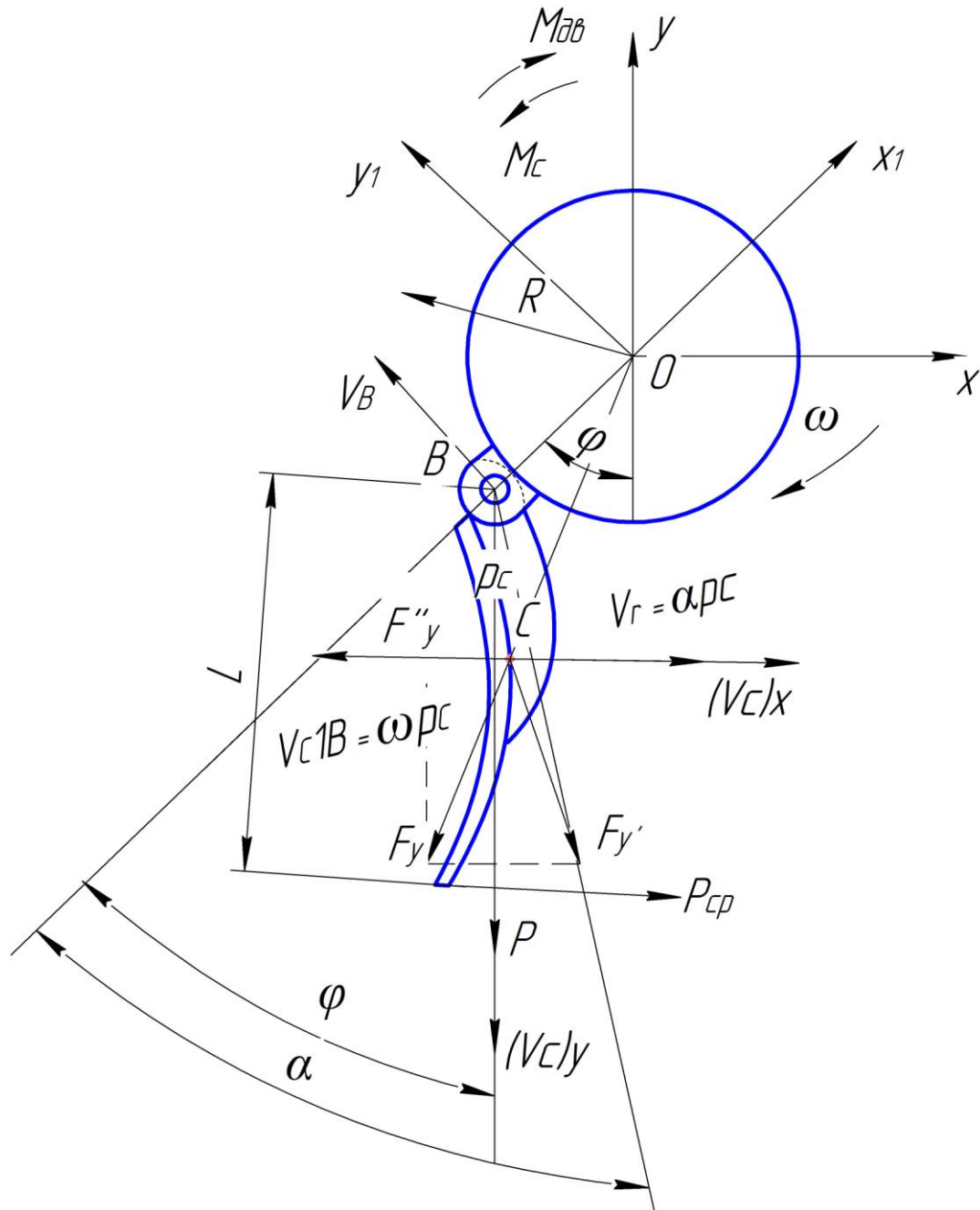


Рисунок 2.4 – Схема ротора с переменным диаметром резания

Примем за обобщенные координаты системы углы отклонения φ и α , где φ – угол отклонения ротора от вертикали, а α – угол отклонения режущего элемента от равновесного положения. Тогда Лагранжевы дифференциальные уравнения движения, которым должны удовлетворять обобщенные координаты как функции времени, могут быть записаны в общем виде [71, 72, 93, 131]:

$$\frac{d(\partial T)}{dt(\partial \dot{\varphi})} - \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = Q_1, \quad (2.8)$$

$$\frac{d(\partial T)}{dt(\partial \dot{\alpha})} - \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} = Q_2, \quad (2.9)$$

где T – кинетическая энергия системы;

Q_1 и Q_2 – обобщенные силы;

φ и α – обобщенные координаты [93].

Вычислим кинетическую энергию T нашей системы, причем представим эту кинетическую энергию как функцию углов поворота и их производных.

Кинетическая энергия системы равна:

$$T = T_1 + T_2, \quad (2.10)$$

где T_1 – кинетическая энергия ротора;

T_2 – кинетическая энергия режущего элемента [71, 72, 93].

Кинетическую энергию T_1 ротора можно определить по формуле:

$$T_1 = I \cdot \frac{\omega^2}{2}, \quad (2.11)$$

где I – момент инерции ротора;

ω – угловая скорость ротора [42, 72, 93].

Режущий элемент участвует в плоскопараллельном движении, поэтому кинетическая энергия его может быть определена по теореме Кенига:

$$T_2 = \frac{1}{2} m V_c^2 + \frac{1}{2} I_c \omega_r^2, \quad (2.12)$$

где V_c – скорость (абсолютная) центра тяжести режущего элемента;

ω_r – угловая скорость режущего элемента по отношению осей, движущихся поступательно.

Абсолютная скорость $\bar{V}_c$ может быть представлена как сумма скоростей:

$$\bar{V}_c = \bar{V}_{c1} + \bar{V}_r, \quad (2.13)$$

где $\bar{V}_{c1}$ – скорость точки C в переносном движении, принадлежащей подвижным осям X_1, O, Y_1 ;

$\bar{V}_r$ – скорость точки C' по отношению осей X_1, O, Y_1 , которая определяется по формуле:

$$\bar{V}_r = \omega \rho_c, \quad (2.14)$$

где ω – угловая скорость относительного движения режущего элемента;

ρ_c – расстояние от оси подвеса режущего элемента до центра тяжести.

Скорость $\bar{V}_{c1}$ может быть представлена как сумма скоростей:

$$\bar{V}_{c1} = \bar{V}_B + \bar{V}_{c1B}, \quad (2.15)$$

где $\bar{V}_B$ – переносная скорость;

$\bar{V}_{c1B}$ – относительная скорость.

Переносная скорость $\bar{V}_B$ равна:

$$\bar{V}_B = \omega \cdot R, \quad (2.16)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора;

R – расстояние от центра вращения ротора до оси подвеса режущего элемента.

А относительная скорость $\bar{V}_{c1B}$ будет равна:

$$\bar{V}_{c1B} = \omega \cdot \rho_c, \quad (2.17)$$

Подставляя равенство (2.15) в (2.13), найдем:

$$\bar{V}_c = \bar{V}_B + \bar{V}_{c1B} + \bar{V}_r, \quad (2.18)$$

Подставив найденные значения в (2.18), спроектируем векторное равенство (2.21) на неподвижные оси XOY , получим:

$$(V_c)_X = -\omega R \cos \varphi - \omega \rho_c \cos(\alpha - \varphi) + \dot{\alpha} \rho_c \cos(\alpha - \varphi), \quad (2.19)$$

$$(V_c)_Y = -\omega R \sin \varphi - \omega \rho_c \sin(\alpha - \varphi) + \dot{\alpha} \rho_c \sin(\alpha - \varphi), \quad (2.20)$$

$$V_c^2 = (V_c)_X^2 + (V_c)_Y^2, \quad (2.21)$$

Подставив значения $(V_c)_X^2$ и $(V_c)_Y^2$ в равенство (2.21) и произведя соответствующие преобразования, найдем:

$$V_c^2 = \omega^2 R^2 + \omega^2 \rho_c^2 + \dot{\alpha}^2 \rho_c^2 + [\cos \varphi \cos(\alpha - \varphi) - \sin \varphi \sin(\alpha - \varphi)] \cdot [2\omega^2 R \rho_c - 2\omega \dot{\alpha} R \rho_c] - 2\omega \dot{\alpha} \rho_c^2, \quad (2.22)$$

Выражение $\cos \varphi \cos(\alpha - \varphi) - \sin \varphi \sin(\alpha - \varphi)$ представляет собой разложенный косинус разности двух углов $\cos[(\varphi + \alpha) - \varphi] = \cos \alpha$.

Таким образом, окончательно выражение (2.22) примет вид:

$$V_c^2 = \omega^2 R^2 + \omega^2 \rho_c^2 + \dot{\alpha}^2 \rho_c^2 + 2\omega^2 R \rho_c \cos \alpha - 2\omega \dot{\alpha} R \rho_c \cos \alpha - 2\omega \dot{\alpha} \rho_c^2, \quad (2.23)$$

Тогда кинетическая энергия системы будет выражена как:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{\varphi}^2 R^2 + \frac{1}{2} m \dot{\varphi}^2 \rho_c^2 + \frac{1}{2} m \dot{\alpha}^2 \rho_c^2 + m \dot{\varphi}^2 \rho_c \cos \alpha - m \dot{\varphi} \dot{\alpha} R \rho_c \cos \alpha - m \dot{\varphi} \dot{\alpha} \rho_c^2 + \frac{1}{2} I_c (\dot{\varphi} \pm \dot{\alpha})^2 + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2, \quad (2.24)$$

Перейдем к вычислению составляющих уравнения (2.8) (рисунок 2.4):

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} = m \dot{\varphi} R^2 + m \dot{\varphi} \rho_c^2 + 2m \dot{\varphi} R \rho_c \cos \alpha - m \dot{\alpha} \rho_c \cos \alpha - m \dot{\alpha} \rho_c^2 + I_c (\dot{\varphi} \pm \dot{\alpha}) + I \dot{\varphi}, \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(\partial T)}{dt(\partial \dot{\varphi})} &= m R^2 \ddot{\varphi} + m \rho_c^2 \ddot{\varphi} + 2m R \rho_c \cos \alpha \ddot{\varphi} - 2m R \rho_c \dot{\varphi} \dot{\alpha} \sin \alpha - m \ddot{\alpha} R \rho_c \cos \alpha + \\ &+ m R \rho_c \dot{\alpha}^2 \sin \alpha - m \ddot{\alpha} \rho_c^2 + I_c (\ddot{\varphi} \pm \ddot{\alpha}) + I \ddot{\varphi}, \end{aligned} \quad (2.26)$$

Произведем преобразования и обозначим:

$$m R^2 + m \rho_c^2 + I_c + I = A,$$

$$m \rho_c^2 \pm I_c = B, 2$$

где I_c – момент инерции ножа относительно центра тяжести.

Получим:

$$\frac{d(\partial T)}{dt(\partial \dot{\varphi})} = (A + 2C \cos \alpha) \ddot{\varphi} - (B + C \cos \alpha) \ddot{\alpha} + (\dot{\alpha} - 2\dot{\varphi}) C \dot{\alpha} \sin \alpha. \quad (2.27)$$

Перейдем к выполнению обобщенной силы Q_1 , соответствующей координате φ .

Дадим координаты φ приращения $\delta \varphi$ и вычислим сумму работ приложенных сил на соответствующем перемещении системы (рисунок 2.4):

$$Q_1 \delta \varphi = M_{\partial \varphi} \delta \varphi - M_c \delta \varphi - P R \sin \varphi \delta \varphi - P_{cp} \cos \alpha \delta \varphi, \quad (2.28)$$

где $M_{\partial\theta}$ – момент двигателя;

M_c – момент сопротивления,

откуда:

$$Q_1 = M_{\partial\theta} - M_c - PR \sin \varphi - P_{cp} R \cos \alpha \quad . \quad (2.29)$$

Окончательно получим первое дифференциальное уравнение движения:

$$(A + 2C \cos \alpha) \ddot{\varphi} - (B + CX \cos \alpha) \ddot{\alpha} + (\dot{\alpha} - 2\dot{\varphi}) C \dot{\alpha} \sin \alpha = M_{\partial\theta} - M_c - PR \sin \varphi - P_{cp} R \cos \alpha. \quad (2.30)$$

Вычислим составляющие уравнения (2.9):

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} = m \dot{\alpha} \rho_c^2 - m \dot{\varphi} R \rho_c \cos \alpha - m \dot{\varphi} \rho_c^2 + I_c (\dot{\varphi} \pm \dot{\alpha}), \quad (2.31)$$

$$\frac{d(\partial T)}{dt(\partial \dot{\alpha})} = m \dot{\alpha} \rho_c^2 - m \dot{\varphi} R \rho_c \cos \alpha + m \dot{\varphi} \ddot{\alpha} R \rho_c \sin \alpha - m \ddot{\varphi} \rho_c^2 + I_c (\ddot{\varphi} \pm \ddot{\alpha}), \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = -m \dot{\varphi}^2 R \rho_c \sin \alpha + m \dot{\varphi} \dot{\alpha} R \rho_c \sin \alpha. \quad (2.33)$$

Дадим координаты α приращение $\delta\alpha$ и вычислим сумму работ приложенных сил на соответствующем перемещении системы (рисунок 2.4):

$$Q_2 \delta\alpha = P \rho_c \sin(\varphi - \alpha) \delta\alpha + P_{cp} L \delta\alpha, \quad (2.34)$$

откуда:

$$Q_2 = P \rho_c \sin(\varphi - \alpha) + P_{cp} L. \quad (2.35)$$

Подставив найденные значения в уравнение (2.9) и произведя преобразования, получим второе дифференциальное уравнение движения:

$$B \ddot{\alpha} - \ddot{\varphi} (B + C \cos \alpha) + C \dot{\varphi}^2 \sin \alpha = P \sin(\varphi - \alpha) + P_{cp} L. \quad (2.36)$$

Мы получим два дифференциальных уравнения второго порядка, которые полностью характеризуют движение системы: ротор - режущий элемент. Решать их обычными методами весьма затруднительно.

Многочисленные замеры числа оборотов ротора во время работы показывают равномерный ход ротора при условии равномерной подачи массы. Поэтому, сделав некоторые допущения, для нашего случая угловую скорость

вращения ротора можно принять постоянной, т.е. $\omega = \text{const}$. Подставив в уравнения (2.28), (2.34) значения $\omega = \text{const}$, получим:

$$(B + C \cos \alpha) \ddot{\alpha} + (\dot{\alpha} - 2\omega) C \dot{\alpha} \sin \alpha = M_{\partial \theta} - M_c - PR \sin \varphi - P_{cp} R \cos \alpha, \quad (2.37)$$

$$B \ddot{\alpha} + C \omega^2 \sin \alpha = P \rho_c \sin(\varphi - \alpha) + P_{cp} L. \quad (2.38)$$

Уравнение (2.36) полностью характеризует относительное движение режущего элемента в поле центробежных сил в зависимости от приложенного момента среза.

Членом $P \rho_c \sin(\varphi - \alpha)$ можно пренебречь, так как вес режущего элемента P по сравнению с центробежной силой является величиной весьма малой. Он равен одному килограмму, а центробежная сила равна порядка 300 кг. Таким образом, окончательно уравнения движения режущего элемента примет вид:

$$B \ddot{\alpha} + C \omega^2 \sin \alpha - P_{cp} L = 0, \quad (2.39)$$

или

$$IB \ddot{\alpha} + m R \rho_c \omega^2 \sin \alpha - P_{cp} L = 0, \quad (2.40)$$

Полученное уравнение (2.40) является нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка [8].

Анализ уравнения (2.40) показывает, что колебания ножа зависят от центробежной силы, действующей на нож, параметров ножа m, L , угловой скорости вращения ротора ω и силы среза P_c [8].

2.4 Анализ работы ротора ботводробителя с шарнирными режущими элементами в поле центробежных сил

В начале работы режущий элемент ротора под действием центробежной силы располагается радиально. В момент встречи с картофельной ботвой он со стороны ботвы получает внешний импульсивный момент среза, под действием которого режущий элемент начинает отклоняться от радиального положения,

достигает максимального угла отклонения $\alpha_{\max}$, после этого двигается в обратную сторону [131].

Следующий удар по ботве может быть нанесен при различных положениях режущего элемента и направлениях относительной скорости. При этом положения его могут быть различными [93].

Направление скорости относительного движения совпадает с направлением вращения ротора. Режущий элемент подходит к положению равновесия, движение ускоренно. В момент прохождения равновесия режущий элемент обладает максимум относительной скорости [59].

Режущий элемент прошел положение равновесия, относительное движение замедленное. В положении максимального отклонения его относительная скорость равна нулю.

Скорость относительного движения направлена в сторону, противоположную вращению. Режущий элемент движется, приближаясь к положению равновесия, в момент продолжения положения равновесия относительная скорость его достигает максимальной величины.

Режущий элемент прошел положение равновесия, движется замедленно, достигает максимального отклоненного положения, в это время его относительная скорость равна нулю.

Кроме того, во время среза ботвы ротор вращается, а режущие элементы колеблются около равновесного положения с разными периодами. Поэтому для получения устойчивой работы ротора необходимо установить связь между кинематическими параметрами ротора, вращающегося в поле центробежных сил, и импульсивным моментом среза, а на основе анализа этой связи выявить оптимальный кинематический режим работы ротора и рациональные его параметры [123, 126, 127, 131].

Для этого решим дифференциальное уравнение и найдем угол отклонения от действия силы среза (2.41) [93].

Во время работы при срезе ботвы нож под воздействием силы среза отклоняется на угол:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2,$$

где α_1 – угол отклонения ножа при срезе ботвы;

α_2 – угол предельного отклонения ножа при движении его по инерции.

Найдем эти углы отклонения.

Полученное дифференциальное уравнение движения ножа в поле центробежных сил представим в виде:

$$J_B \ddot{\alpha} + mR\rho_c \omega_0^2 \sin \alpha = P_{cp} l, \quad (2.41)$$

где J_B – момент инерции ножа относительно подвеса;

m – масса ножа;

ρ_c – расстояние от точки подвеса ножа до его центра масс;

R – радиус барабана;

ω_0 – угловая скорость барабана;

P_{cp} – сила среза, действующая на нож;

l – длина ножа [93, 128, 129, 130, 131].

Первый интеграл уравнения (2.41) найдем, представив:

$$\ddot{\alpha} = \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{d\dot{\alpha}}{dt} \cdot \frac{d\alpha}{d\alpha} = \frac{\dot{\alpha} d\alpha}{d\alpha} = \frac{1}{2} \frac{d\dot{\alpha}^2}{d\alpha},$$

Подставив в (2.41), получим:

$$\frac{d\dot{\alpha}^2}{d\alpha} = \frac{2P_{cp}}{J_B} l - \frac{2mR\rho_c \omega_0^2}{J_B} \sin \alpha,$$

Интегрируем по α , найдем:

$$\dot{\alpha}^2 - \dot{\alpha}_0^2 = \frac{2P_{cp}}{J_B} l (\alpha - \alpha_0) + \frac{2mR\rho_c \omega_0^2}{J_B} (\cos \alpha - \cos \alpha_0).$$

Отсюда:

$$\dot{\alpha} = \frac{d\alpha}{dt} = \pm \sqrt{\dot{\alpha}_0^2 + 2k^2 (\cos \alpha - \cos \alpha_0) + \frac{2P_{cp}}{J_B} l (\alpha - \alpha_0)}, \quad (2.42)$$

где:

$$k^2 = \frac{mR\rho_c\omega_0^2}{J_B}, \quad (2.43)$$

$\dot{\alpha}_0$ – относительная начальная угловая скорость ножа вокруг точки подвеса;

α_0 – угол отклонения ножа от радиального положения при $t_0 = 0$.

Движение ножа можно разбить на участки:

1) $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_{cp}$ – отклонение ножа во время срезания ботвы, где α_{cp} – угол, на который отклоняется нож от радиального положения за время срезания ботвы t_{cp} .

2) $\alpha_{cp} \leq \alpha \leq \alpha_{ост}$ – отклонение ножа по инерции после срезания ботвы до момента времени $t_{ост}$, когда его угловая скорость станет равной нулю ($\dot{\alpha} = 0$).

3) $\alpha_{возвр.} \leq \alpha \leq \alpha_{ост}$ – отклонение ножа к радиальному положению под действием центробежных сил, где $\alpha_{возвр.}$ – угол отклонения от угла остановки до радиального положения, в которое вернется нож за один оборот барабана.

Рассмотрим первый этап движения [93, 131]. За время действия силы P_{cp} движение происходит в сторону возрастания угла α , и поэтому в (2.42) берем знак + и разделяя переменные, интегрируем:

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha_{cp}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\dot{\alpha}_0^2 + 2k^2(\cos\alpha - \cos\alpha_0) + \frac{2P_{cp}l}{J_B}(\alpha - \alpha_0)}} = \int_0^{t_{cp}} dt, \quad (2.44)$$

Разложим $\cos\alpha$ по степеням $(\alpha - \alpha_0)$ в ряд Тейлора:

$$\cos\alpha = \cos\alpha_0 - \sin\alpha_0(\alpha - \alpha_0) - \frac{1}{2}\cos\alpha_0(\alpha - \alpha_0)^2,$$

Тогда:

$$\cos\alpha = \cos\alpha_0 - \sin\alpha_0(\alpha - \alpha_0) - \frac{1}{2}\cos\alpha_0(\alpha - \alpha_0)^2.$$

Подставим в (2.44) и после приведения подобных, получим:

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha_{cp}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\dot{\alpha}_0^2 + \left(2k^2 \sin \alpha - \frac{2P_{cp}l}{J_B}\right)(\alpha - \alpha_0) - k^2 \cos \alpha_0 (\alpha - \alpha_0)^2}} = \int_0^{t_{cp}} dt. \quad (2.45)$$

Обозначим:

$$a = k^2 \cos \alpha_0, b = 2k^2 \sin \alpha_0 - \frac{2P_{cp}l}{J_B},$$

тогда:

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha_{cp}} \frac{d\alpha}{\sqrt{-a(\alpha - \alpha_0)^2 - b(\alpha - \alpha_0) + \dot{\alpha}_0^2}} = t_{cp}. \quad (2.46)$$

Введем переменную $u = \alpha - \alpha_0 \geq 0$, тогда $du = d\alpha$; $u_0 = 0$; $u_{cp} = \alpha_{cp} - \alpha_0$.

$$\int_{u_0}^{u_{cp}} \frac{du}{\sqrt{au^2 - bu + \dot{\alpha}_0^2}} = t_{cp}. \quad (2.47)$$

Вычислим интеграл:

$$J_1 = \int_{u_0}^{u_{cp}} \frac{du}{\sqrt{-au^2 - bu + \dot{\alpha}_0^2}} = t_{cp}. \quad (2.48)$$

Применим третью подстановку Эйлера [19, 146]. Для этого найдем корни уравнения:

$$au^2 + bu - \dot{\alpha}_0^2 = 0, \quad (2.49)$$

$$u_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 + 4a\dot{\alpha}_0^2}}{2a},$$

$$u_1 = \frac{-b - \sqrt{b^2 + 4a\dot{\alpha}_0^2}}{2a},$$

$$u_2 = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4a\dot{\alpha}_0^2}}{2a}.$$

Тогда:

$$-au^2 - bu + \dot{\alpha}_0^2 = -a(u - u_1)(u - u_2),$$

Введем новую переменную v , такую что:

$$v = \sqrt{\frac{-a(u - u_1)}{u - u_2}}. \quad (2.50)$$

Умножив обе части равенства (2.50) на $(u - u_2)$, получим:

$$\sqrt{-a(u - u_1)(u - u_2)} = v|u - u_2|. \quad (2.51)$$

Из (2.51) выразим:

$$u = \frac{au_1 + v^2 u_2}{a + v^2}. \quad (2.52)$$

Тогда:

$$|u - u_2| = \left| \frac{au_1 + v^2 u_2}{a + v^2} - u_2 \right| = \left| \frac{au_1 + v^2 u_2 - u_2 a - v^2 u_2}{a + v^2} \right| = \left| \frac{a(u_1 - u_2)}{a + v^2} \right| = \frac{a(u_2 - u_1)}{a + v^2},$$

то есть:

$$|u - u_2| = \frac{a(u_2 - u_1)}{a + v^2}, \quad (2.53)$$

и:

$$\sqrt{-au^2 - bu + \dot{\alpha}_0^2} = \sqrt{-a(u - u_1)(u - u_2)} = v|u - u_2| = \frac{va(u_2 - u_1)}{a + v^2}. \quad (2.54)$$

Дифференцируя (2.52), получим:

$$du = \frac{2va(u_2 - u_1)}{(a + v^2)^2} dv, \quad (2.55)$$

Из (2.50) найдем:

$$v(u_0) = v_0 = \sqrt{-\frac{au_1}{u_2}}, \quad (2.56)$$

$$v(u_{cp}) = v_{cp} = \sqrt{\frac{-a(u_{cp} - u_1)}{u_{cp} - u_1}}.$$

Подставляя (2.54), (2.55), (2.56) в (2.48), получим:

$$J_1 = \int_{u_0}^{u_{cp}} \frac{du}{\sqrt{-au^2 - bu + \dot{\alpha}_0^2}} = \int_{u_0}^{u_{cp}} \frac{du}{v(u - u_2)} = \int_{v_0}^{v_{cp}} \frac{2va(u_2 - u_1)dv}{(a + v^2)^2 \frac{va(u_2 - u_1)}{a + v^2}} = 2 \int_{v_0}^{v_{cp}} \frac{dv}{a + v^2} =$$

$$= \frac{2}{\sqrt{a}} \operatorname{arctg} \frac{v}{\sqrt{a}} \Big|_{v_0}^{v_{cp}} = \frac{2}{\sqrt{a}} \left(\operatorname{arctg} \frac{v_{cp}}{\sqrt{a}} - \operatorname{arctg} \frac{v_0}{\sqrt{a}} \right).$$

Таким образом, уравнение (2.47) имеет вид:

$$\frac{2}{\sqrt{a}} \left(\operatorname{arctg} \frac{v_{cp}}{\sqrt{a}} - \operatorname{arctg} \frac{v_0}{\sqrt{a}} \right) = t_{cp},$$

или:

$$\left(\operatorname{arctg} \frac{v_{cp}}{\sqrt{a}} - \operatorname{arctg} \frac{v_0}{\sqrt{a}} \right) = \frac{\sqrt{a}}{2} t_{cp}.$$

Возьмем тангенс от левой и правой части:

$$\operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{v_{cp}}{\sqrt{a}} - \operatorname{arctg} \frac{v_0}{\sqrt{a}} \right) = \operatorname{tg} \left(\frac{\sqrt{a}}{2} t_{cp} \right),$$

$$\frac{(v_{cp} - v_0)}{a + v_{cp} v_0} = \frac{\sqrt{a}}{a} \operatorname{tg} \left(\frac{\sqrt{a}}{2} t_{cp} \right). \quad (2.57)$$

Обозначим:

$$A = \frac{\sqrt{a}}{a} \operatorname{tg} \left(\frac{\sqrt{a}}{2} t_{cp} \right).$$

Тогда:

$$\frac{(v_{cp} - v_0)}{a + v_{cp} v_0} = A.$$

Отсюда:

$$v_{cp} = \frac{Aa + v_0}{1 - Av_0}.$$

Подставим (2.56) в (2.58) и найдем u_{cp} :

$$\sqrt{\frac{-a(u_{cp} - u_1)}{u_{cp} - u_2}} = \frac{Aa + v_0}{1 - Av_0},$$

$$\begin{aligned}
\frac{-a(u_{cp} - u_1)}{u_{cp} - u_2} &= \left(\frac{Aa + v_0}{1 - Av_0} \right)^2, \\
-a(u_{cp} - u_1)(1 - Av_0)^2 &= (u_{cp} - u_2)(Aa + v_0), \\
-a(1 - Av_0)^2 u_{cp} + au_1(1 - Av_0)^2 &= (Aa + v_0)^2 u_{cp} - u_2(Aa + v_0)^2, \\
-a(1 - Av_0)^2 u_{cp} - (Aa + v_0)^2 u_{cp} &= -u_2(Aa + v_0)^2 - au_1(1 - Av_0)^2, \\
u_{cp} &= \frac{au_1(1 + Av_0)^2 + u_2(Aa + v_0)^2}{a(1 - Av_0)^2 + (Aa + v_0)^2}.
\end{aligned} \tag{2.58}$$

Так как $u_{cp} = \alpha_{cp} - \alpha_0$, то:

$$\alpha_{cp} = \alpha_0 + \frac{au_1(1 + Av_0)^2 + u_2(Aa + v_0)^2}{a(1 - Av_0)^2 + (Aa + v_0)^2}, \tag{2.59}$$

где a, u_1, u_2, v_0, A определяются формулами (2.45), (2.49), (2.56) и (2.57).

Из (2.43) найдем угловую скорость в момент времени $t = t_{cp}$ и соответственно $\alpha = \alpha_{cp}$.

$$\omega_{cp} = \sqrt{\omega_0^2 + 2k^2(\cos \alpha_{cp} - \cos \alpha_0) + \frac{2P_{cp}l}{J_B}(\alpha_{cp} - \alpha_0)}. \tag{2.60}$$

Рассмотрим участок движения ножа от $\alpha = \alpha_{cp}$ до $\alpha = \alpha_{ост}$, где $\alpha_{ост}$ – угол, при повороте на который нож останавливается.

На этом участке $(\alpha_{cp} \leq \alpha \leq \alpha_{ост})$, $P_{cp} = 0$, начальная угловая скорость равна $\dot{\alpha}_0 = \omega_{cp}$. При $\alpha = \alpha_{ост}$ угловая скорость $\dot{\alpha} = \omega = 0$.

При этих условиях уравнение (2.42) движения ножей имеет вид [8]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \sqrt{\omega_{cp}^2 + 2k^2(\cos \alpha - \cos \alpha_{cp})}. \tag{2.61}$$

Проинтегрировав уравнение, найдем время движения ножа на этом участке [107]:

$$\int_{\alpha_{cp}}^{\alpha_{ост}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\omega_{cp}^2 + 2k^2(\cos \alpha - \cos \alpha_{cp})}} = \int_0^{t_{ост}} dt. \tag{2.62}$$

Вычислим интеграл:

$$J_2 = \int_{\alpha_{cp}}^{\alpha_{ocm}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\omega_{cp}^2 + 2k^2(\cos \alpha - \cos \alpha_{cp})}} = \frac{1}{\sqrt{2k}} \int_{\alpha_{cp}}^{\alpha_{ocm}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\frac{\omega_{cp}^2}{2k^2} + (\cos \alpha - \cos \alpha_{cp})}},$$

Разложим $\cos \alpha$ в окрестности угла α_{cp} :

$$\cos \alpha = \cos \alpha_{cp} - \sin \alpha_{cp}(\alpha - \alpha_{cp}) - \frac{1}{2} \cos \alpha_{cp}(\alpha - \alpha_{cp})^2.$$

Тогда:

$$J_2 = \frac{1}{\sqrt{2k}} \int_{\alpha_{cp}}^{\alpha_{ocm}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\frac{\omega_{cp}^2}{2k^2} - (\alpha - \alpha_{cp}) \sin \alpha_{cp} - \frac{\cos \alpha_{cp}}{2}(\alpha - \alpha_{cp})^2}}.$$

Введем новую переменную $x = \alpha - \alpha_{cp}$.

Тогда $dx = d\alpha$, $x_{cp} = 0$, $x_{ocm} = \alpha_{ocm} - \alpha_{cp}$.

$$J_2 = \frac{1}{\sqrt{2k}} \int_0^{x_{ocm}} \frac{dx}{\sqrt{n - dx - cx^2}}, \quad (2.63)$$

где

$$n = \frac{\omega_{cp}^2}{2k^2}, \quad d = \sin \alpha_{cp}, \quad C = \frac{\cos \alpha_{cp}}{2}. \quad (2.64)$$

Интегрируем, как в первом случае.

Найдем корни уравнения:

$$n - dx - cx^2 = 0,$$

$$x_{1,2} = \frac{-d \pm \sqrt{d^2 + 4cn}}{2c}, \quad (2.65)$$

$$x_1 = \frac{-d - \sqrt{d^2 + 4cn}}{2c},$$

$$x_2 = \frac{-d + \sqrt{d^2 + 4cn}}{2c}.$$

Т.е. $-cx^2 - dx + n = -c(x - x_1)(x - x_2)$.

Введем новую переменную y , такую, что:

$$y = \sqrt{\frac{-c(x - x_1)}{x - x_2}}. \quad (2.66)$$

Умножив оба равенства (2.66) на $(x - x_2)$, получим:

$$\sqrt{-c(x - x_1)(x - x_2)} = y|x - x_2|. \quad (2.67)$$

Из (2.66) выразим x :

$$y^2 = \frac{-c(x - x_1)}{x - x_2},$$

$$y^2 x - y^2 x_2 = -c(x - x_1),$$

$$(y^2 + c)x = y^2 x_2 + cx_1,$$

$$x = \frac{y^2 x_2 + cx_1}{y^2 + c}. \quad (2.68)$$

Тогда, если $x_2 \geq x_1$:

$$|x - x_2| = \left| \frac{y^2 x_2 + cx_1}{y^2 + c} - x_2 \right| = \frac{c(x_2 - x_1)}{y^2 + c}. \quad (2.69)$$

Дифференцируя (2.68), получим:

$$dx = \frac{2yc(x_2 - x_1)}{(y^2 + c)^2}, \quad (2.70)$$

Из (2.66) найдем:

$$y(x_{cp}) = \sqrt{\frac{-c(x_{cp} - x_1)}{x_{cp} - x_2}},$$

$$y(x_{ocm}) = \sqrt{\frac{-c(x_{ocm} - x_1)}{x_{ocm} - x_2}},$$

$$y_{cp} = \sqrt{-c \frac{x_1}{x_2}}, \quad (2.71)$$

$$y_{ocm} = \sqrt{\frac{-c(x_{ocm} - x_1)}{x_{ocm} - x_2}}. \quad (2.72)$$

Подставляя (2.67), (2.69), (2.70), (2.71) и (2.72) в (2.63), получим:

$$\begin{aligned}\sqrt{n-dx-cx^2} &= \sqrt{-c(x-x_1)(x-x_2)} = y|x-x_2| = \frac{c(x_2-x_1)y}{y^2+c}, \\ J_2 &= \frac{1}{\sqrt{2k}} \int_{y_{cp}}^{y_{ocm}} \frac{2yc(x_2-x_1)(y^2+c)}{(y^2+c)^2 yc(x_2-x_1)} dy = \frac{1}{\sqrt{2k}} \int_{y_{cp}}^{y_{ocm}} \frac{2}{(y^2+c)} dy = \frac{\sqrt{2}}{k} \int_{y_{cp}}^{y_{ocm}} \frac{dy}{y^2+c} = \\ &= \frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{c}} \operatorname{arctg} \frac{y}{\sqrt{c}} \Big|_{y_{cp}}^{y_{ocm}}, \\ J_2 &= \frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{c}} \left(\operatorname{arctg} \frac{y_{ocm}}{\sqrt{c}} - \operatorname{arctg} \frac{y_{cp}}{\sqrt{c}} \right).\end{aligned}\quad (2.73)$$

Таким образом, уравнение (2.62) имеет вид:

$$\begin{aligned}\frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{c}} \left(\operatorname{arctg} \frac{y_{ocm}}{\sqrt{c}} - \operatorname{arctg} \frac{y_{cp}}{\sqrt{c}} \right) &= t_{ocm}, \\ t_{ocm} &= \frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{c}} \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{c}} \sqrt{\frac{-c(x_{ocm}-x_1)}{x_{ocm}-x_2}} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{c}} \sqrt{\frac{-cx_1}{x_2}} \right) \right), \\ t_{ocm} &= \frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{c}} \left(\operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{(x_{ocm}-x_1)}{x_2-x_{ocm}}} \right) - \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{x_1}{x_2}} \right) \right).\end{aligned}\quad (2.74)$$

Из (2.74) найдем x_{ocm} :

$$\frac{\sqrt{\frac{(x_{ocm}-x_1)}{x_2-x_{ocm}}} - \sqrt{\frac{x_1}{x_2}}}{1 + \sqrt{\frac{(x_{ocm}-x_1)}{x_2-x_{ocm}}} \cdot \sqrt{\frac{x_1}{x_2}}} = \operatorname{tg} \left(\frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{c}} t_{ocm} \right).$$

Отсюда:

$$\sqrt{\frac{(x_{ocm}-x_1)}{x_2-x_{ocm}}} = \frac{-\sqrt{\frac{x_1}{x_2}} + \operatorname{tg} \left(\frac{k\sqrt{c}}{k\sqrt{2}} t_{ocm} \right)}{1 - \sqrt{-\frac{x_1}{x_2}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{k\sqrt{c}}{k\sqrt{2}} t_{ocm} \right)}.$$

Обозначим:

$$B = \frac{\sqrt{-\frac{x_1}{x_2}} + \operatorname{tg}\left(\frac{k\sqrt{c}}{k\sqrt{2}} t_{ocm}\right)}{1 - \sqrt{-\frac{x_1}{x_2}} \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{k\sqrt{c}}{k\sqrt{2}} t_{ocm}\right)}. \quad (2.75)$$

Тогда:

$$\sqrt{\frac{(x_{ocm} - x_1)}{x_2 - x_{ocm}}} = B.$$

Отсюда найдем:

$$x_{ocm} = \frac{x_2 B^2 + x_1}{1 + B^2}. \quad (2.76)$$

Так как $x_{ocm} = \alpha_{ocm} - \alpha_{cp}$, то:

$$\alpha_{ocm} = \alpha_{cp} + \frac{x_2 B^2 + x_1}{1 + B^2}, \quad (2.77)$$

где α_{cp}, x_2, x_1, B определяются формулами (2.59), (2.65) и (2.75).

Полный угол отклонения ножа в момент срезания ботвы от радиального положения до полной остановки определяется как $\psi = \alpha_{cp} + \alpha_{ocm}$, т.е.:

$$\psi = 2\alpha_{cp} + \frac{x_2 B^2 + x_1}{1 + B^2}. \quad (2.78)$$

Рассмотрим движение ножа на участке от α_{ocm} до $\alpha_{возв}$ ($\alpha_{ocm} \geq \alpha_{возв}$), где:

$\alpha_{возв}$ – угол отклонения ножа от радиального положения при полном обороте барабана [8].

Движение ножа на этом участке происходит в обратную сторону и начальная угловая скорость $\omega_{ocm} = 0$.

Поэтому уравнение (2.42) примет вид:

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\sqrt{2k^2(\cos \alpha - \cos \alpha_{ocm})}. \quad (2.79)$$

Интегрируя, получим:

$$\frac{1}{\sqrt{2k}} \int_{\alpha_{ocm}}^{\alpha_{\theta 036}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\cos \alpha - \cos \alpha_{ocm}}} = - \int_{t_{ocm}^{об}}^{t_{об}} dt, \quad (2.80)$$

где:

$$t_{об} = \frac{2\pi}{\omega_{\bar{o}}} - \text{время одного оборота барабана.}$$

$$t_{ocm}^{общ} = t_o + t_{cp} + t_{ocm}.$$

Вычислим интеграл в левой части равенства (2.80).

$$J_3 = \int_{\alpha_{ocm}}^{\alpha_{\theta 036}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\cos \alpha - \cos \alpha_{ocm}}}. \quad (2.81)$$

Разложим $\cos \alpha$ по степеням $(\alpha - \alpha_{ocm})$ в ряд Тейлора:

$$\cos \alpha = \cos \alpha_{ocm} - \sin \alpha_{ocm} (\alpha - \alpha_{ocm}) - \frac{1}{2} \cos \alpha_{ocm} (\alpha - \alpha_{ocm})^2.$$

Подставим в (2.81), получим:

$$J_3 = \int_{\alpha_{ocm}}^{\alpha_{\theta 036}} \frac{d\alpha}{\sqrt{-\sin \alpha_{ocm} (\alpha - \alpha_{ocm}) - \frac{1}{2} \cos \alpha_{ocm} (\alpha - \alpha_{ocm})^2}}.$$

Введем новую переменную $z = -(\alpha - \alpha_{ocm})$.

Тогда:

$$dz = -d\alpha; z_{ocm} = 0; z_{\theta 036} = -(\alpha_{\theta 036} - \alpha_{ocm}),$$

$$J_3 = \int_{z_{ocm}}^{z_{\theta 036}} \frac{-d\alpha}{\sqrt{z \sin \alpha_{ocm} - \frac{1}{2} \cos \alpha_{ocm} z^2}}.$$

Обозначим:

$$\frac{1}{2} \cos \alpha_{ocm} = m; \sin \alpha_{ocm} = l, \quad (2.82)$$

$$J_3 = \int_0^{z_{\theta 036}} \frac{dz}{\sqrt{-z^2 m + lz}}. \quad (2.83)$$

Так как:

$$-mz^2 + lz = -mz\left(z - \frac{1}{m}\right), \quad (2.84)$$

то введем новую переменную:

$$w = \sqrt{\frac{-mz}{z - \frac{1}{m}}}. \quad (2.85)$$

Умножим обе части равенства (2.85) на $\left|z - \frac{1}{m}\right|$, получим:

$$\left|z - \frac{1}{m}\right|w = \sqrt{-mz\left(z - \frac{1}{m}\right)}, \quad (2.86)$$

Из (2.80) найдем:

$$z = \frac{w^2 \frac{l}{m}}{w^2 + m}. \quad (2.87)$$

Тогда:

$$\left|z - \frac{1}{m}\right| = \left|\frac{w^2 \frac{l}{m}}{w^2 + m} - \frac{1}{m}\right| = \left|\frac{-l}{w^2 + m}\right|,$$

Таким образом, имеем цепочку равенств:

$$\sqrt{-mz^2 + lz} = \sqrt{-mz\left(z - \frac{1}{m}\right)} = w\left|z - \frac{1}{m}\right| = \frac{-wl}{w^2 + m},$$

т.е.

$$\sqrt{-mz^2 + lz} = \frac{-wl}{w^2 + m}, \quad (2.88)$$

Дифференцируем (2.87), получим:

$$dz = \frac{2wl}{(w^2 + m)^2} dw. \quad (2.89)$$

Из (2.85) найдем:

$$w_{6036} = w(z_{6036}) = \sqrt{\frac{-mz_{6036}}{z_{6036} - \frac{1}{m}}}, \quad (2.90)$$

$$w_0 = w(z_0) = 0.$$

Подставляя (2.88), (2.89) и (2.90) в (2.83), получим:

$$J_3 = \int_0^{w_{6036}} \frac{2wldw}{\sqrt{(w^2 + m)^2} \frac{lw}{w^2 + m}} = 2 \int_0^{w_{6036}} \frac{dw}{w^2 + m} = \frac{2}{\sqrt{m}} \left(\operatorname{arctg} \frac{w}{\sqrt{m}} \right) \Big|_0^{w_{6036}} = \frac{2}{\sqrt{m}} \operatorname{arctg} \frac{w_{6036}}{\sqrt{m}}.$$

Тогда уравнение (2.80) имеет вид:

$$\frac{2}{\sqrt{2}k\sqrt{m}} \operatorname{arctg} \frac{w_{6036}}{\sqrt{m}} = -(t_{об} - t_{осм}^{обш}) \quad (2.91)$$

Учитывая (2.85), получим:

$$\frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{m}} \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{m}} \sqrt{\frac{-mz_{6036}}{z_{6036} - \frac{l}{m}}} \right) = -(t_{об} - t_{осм}^{обш}) \quad (2.92)$$

Из (2.92) найдем z_{6036} :

$$\frac{\sqrt{2}}{k\sqrt{m}} \operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{-z_{6036}}{z_{6036} - \frac{l}{m}}} \right) = -(t_{об} - t_{осм}^{обш}),$$

$$\operatorname{arctg} \left(\sqrt{\frac{-z_{6036}}{z_{6036} - \frac{l}{m}}} \right) = -\frac{k\sqrt{m}}{\sqrt{2}} (t_{об} - t_{осм}^{обш}),$$

$$\sqrt{\frac{-z_{6036}}{z_{6036} - \frac{l}{m}}} = -\operatorname{tg} \left(\frac{k\sqrt{m}}{\sqrt{2}} (t_{об} - t_{осм}^{обш}) \right),$$

$$\frac{-z_{6036}}{z_{6036} - \frac{l}{m}} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{k\sqrt{m}}{\sqrt{2}} (t_{об} - t_{осм}^{обш}) \right),$$

Обозначив:

$$(t_{об} - t_{осм}^{обш}) k \sqrt{\frac{m}{2}} = \varphi, \quad (2.93)$$

$$\frac{-z_{\text{бoзв}}}{l} = \operatorname{tg}^2 \varphi,$$

$$z_{\text{бoзв}} = -\frac{l}{m}$$

$$-z_{\text{бoзв}} = z_{\text{бoзв}} \operatorname{tg}^2 \varphi - \frac{l}{m} \operatorname{tg}^2 \varphi,$$

$$z_{\text{бoзв}} (\operatorname{tg}^2 \varphi + 1) = -\frac{l}{m} \operatorname{tg}^2 \varphi,$$

$$z_{\text{бoзв}} = \frac{-\frac{l}{m} \operatorname{tg}^2 \varphi}{(\operatorname{tg}^2 \varphi + 1)}.$$

Так как $z_{\text{бoзв}} = \alpha_{\text{ocm}} - \alpha_{\text{бoзв}}$, то, учитывая (2.93), получим:

$$\alpha_{\text{бoзв}} = \alpha_{\text{ocm}} - \frac{l}{m} \frac{\operatorname{tg}^2 \left(\frac{k\sqrt{m}(t_{\text{об}} - t_{\text{ocm}}^{\text{обц}})}{\sqrt{2}} \right)}{1 + \operatorname{tg}^2 \left(\frac{k\sqrt{m}(t_{\text{об}} - t_{\text{ocm}}^{\text{обц}})}{\sqrt{2}} \right)}. \quad (2.94)$$

2.5 Обоснование основных параметров режущих элементов (ножей) ботводробителя

2.5.1 Определение периода колебаний ножей ботводробителя

Определим период колебаний ножей. Как известно, при воздействии силы среза на нож последний отклоняется на угол α и продолжает колебаться назад и вперед с последующим затуханием. Профессором Углановым М.Б. определен период колебаний ножа от действия силы среза. Им установлено, что период колебаний ножа в поле центробежных сил зависит от величины максимального угла отклонения от радиального положения, при углах до $\alpha=30^\circ$ период колебаний ножа является постоянным. Поэтому данный угол принимается как предельный, что обеспечивает стабильную работу ротора. Рассмотрим движение ножа после взаимодействия с ростками ботвы картофеля после соударения, нож отклоняется от нейтрального положения и совершает свободные колебания под действием центробежной силы, согласно уравнения [9, 42, 131]:

$$J_B \ddot{\alpha} + mR\rho_c \omega_o^2 \sin \alpha = 0 \quad (2.95)$$

Учитывая, что угол отклонения ножа от радиального положения не значителен, допустим, что $\sin \alpha = \alpha$. Тогда выражение (2.95) можно записать в виде

$$J_B \ddot{\alpha} + mR\rho_c \omega_o^2 \alpha = 0 \quad (2.96)$$

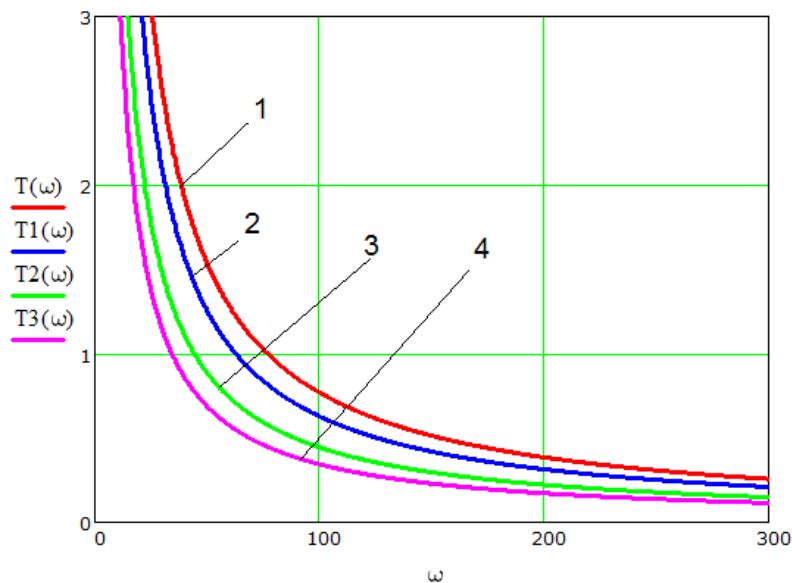
Уравнение (2.96) можно преобразовать в следующий вид:

$$\ddot{\alpha} + \frac{mR\rho_c \omega_o^2}{J_B} \alpha = 0 \quad (2.97)$$

Данное уравнение описывает закон гармонических колебаний ножа. Период колебаний ножа в этом случае будет определяться выражением

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{mR\rho_c \omega_o^2}{J_B}}} \quad (2.98)$$

Из формулы (2.98) видно, что период колебания ножа в поле центробежных сил зависит от параметров ножа и частоты вращения барабана ботводробителя. Построим зависимость периода колебания от частоты вращения барабана и параметров ножей. Графически это будет иметь вид [9, 131]:



1, 2, 3, 4 – различные параметры ножей

Рисунок 2.5 - Зависимость периода колебаний от угловой скорости барабана и параметров ножа [10, 12, 131]

Анализ рисунка показывает, что период колебаний в большей степени зависит от величины центробежных сил, действующих на нож, то есть от частоты вращения барабана ботводробителя. Также на период колебаний влияют параметры ножа, особенно его длина, и в меньшей степени – масса.

2.5.2 Обоснование основных параметров режущих ножей ботводробителя

2.5.2.1 Исследования профиля грядки и определение длины ножей ботводробителя

Значение одного из главных параметров ножа – длины мы определим из экспериментальных исследований профиля картофельной грядки. Для этого нужно на картофельном поле произвести замеры профиля картофельной грядки. По полученным данным обосновать переменные длины ножей с тем, чтобы ножи охватывали грядку и удаляли картофельную ботву сверху, с боков и в междурядьях [13, 93, 113].

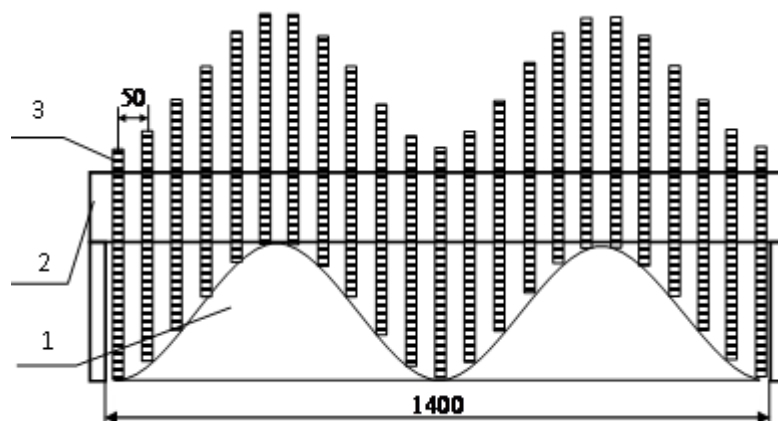
Замеры гряд мы проводили 3 сентября 2013 г. в ООО Авангард Рязанского района.

В полевых исследованиях приведены: характеристика поля (таблица 4.2), прибор для замера параметров грядки (рисунок 4.3) и полученные данные, сведенные в таблицу.

Мы выдвинули гипотезу о том, что профиль грядки располагается практически по кривой, описуемой синусоидой, вида $y = A \sin \varphi$, где A – высота грядки. Для проверки этого предположения нами был взят прибор для изучения профиля грядки (рисунок 2.6, 4.3) [13, 34].

Прибор представляет собой рамку 2 с закрепленными на ней двадцатью восемью подвижными элементами с засечками 3, расположенными на расстоянии 50 мм друг от друга, которая устанавливается на грядки 1. Полученные данные заносятся в компьютер (программа математического

моделирования Math CAD) и при помощи математических вычислений строится кривая, которая сравнивается с теоретической синусоидой и получается среднеквадратическое отклонение в процентах. График сравнения приведен на рисунке 2.7.



1 – грядки; 2 – рамка прибора; 3 – подвижные элементы с засечками

Рисунок 2.6 – Прибор для измерения профиля грядок

Прибор устанавливается на грядку [137].

Результаты замеров профиля грядок до прохода установки приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнительные данные профиля грядок с теоретической синусоидой

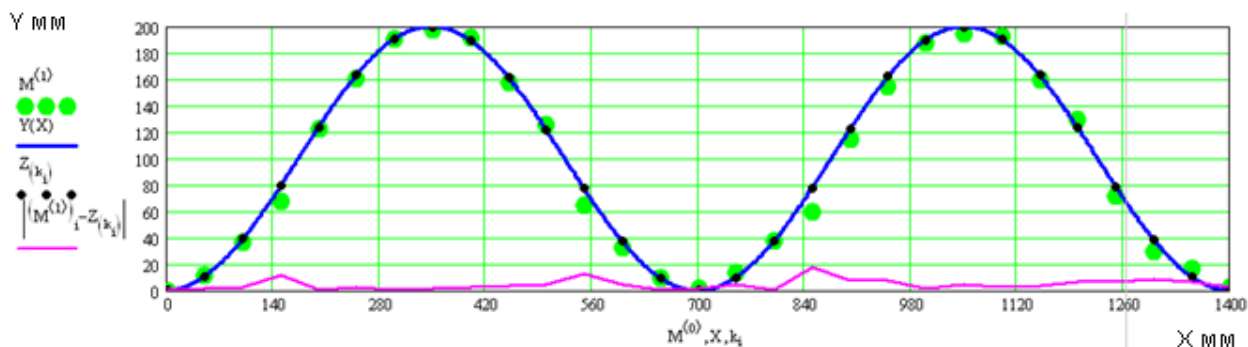
Точка замера X, мм	Значения теоретической синусоиды Y, мм	Экспериментальные значения Y, мм
1	2	3
0	0	0
50	12	12
100	40	37
150	80	68
200	123	123
250	162	161
300	190	191
350	200	198
400	190	192
450	162	158
500	123	126
550	80	65
600	40	33

продолжение таблицы 2.1

650	12	10
700	0	2
750	12	14
800	40	38
850	80	60
900	123	115
950	162	155
1000	190	188
1050	200	195
1100	190	193
1150	162	160
1200	123	130
1250	80	72
1300	40	30
135	12	17
1400	0	3

По полученным данным построили графическое изображение профиля грядок (рисунок 2.7) [131].

Анализ показывает, что профиль грядки до прохода установки хорошо согласуется с теоретической синусоидой и среднеквадратическое отклонение от теоретической синусоиды равно $\sigma = 2,2 \%$.



$M^{(1)}$ – данные прибора; $Y(X)$ – теоретическая синусоида; $Z_{(ki)}$ – теоретические точки на синусоиде $Y(X)$; $|M^{(1)}_i - Z_{(ki)}|$ – отклонение точек, полученных прибором от теоретических точек; $M^{(1)}$ – данные прибора; $Y(X)$ – теоретическая синусоида; $Z_{(ki)}$ – теоретические точки на синусоиде $Y(X)$; $|M^{(1)}_i - Z_{(ki)}|$ – отклонение точек полученных прибором от теоретических точек.

Рисунок 2.7 – Сравнительный график лабораторных данных с теоретической синусоидой

Определим графоаналитическим методом длины шарнирных ножей [131].

Для определения длин ножей за основу возьмем нож $L_4 = 175$ мм от серийной машины. Для этого мы опустим ротор до тех пор, пока средний короткий нож L_4 не коснется верхней точки грядки. Следующий нож L_3 будет длиннее L_4 на величину H_1 и он также коснется грядки, последующие ножи L_2 и L_1 будут длиннее соответственно на величину H_2 и H_3 .

Величины H_1 , H_2 и H_3 найдем из схемы (рисунок 2.8). Они будут: $H_1 = 45$ мм, $H_2 = 135$ мм и $H_3 = 200$ мм.

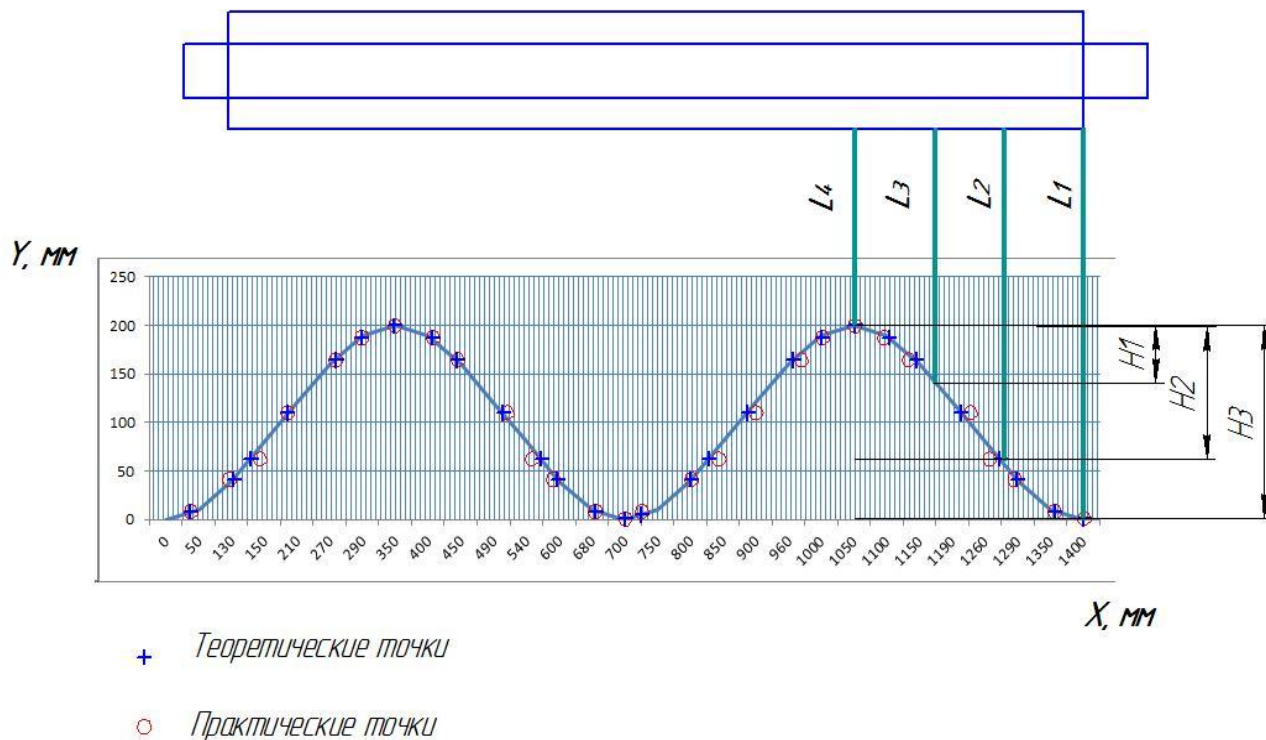


Рисунок 2.8 – Схема для определения длины переменных ножей

Таким образом, определим длину ножей по формуле:

$$L = L_4 + H_i,$$

где $L_4 = 175$ мм,

$$L_3 = 175 + 45 = 220 \text{ мм},$$

$$L_2 = 175 + 135 = 310 \text{ мм},$$

$$L_1 = 175 + 200 = 375 \text{ мм}.$$

2.5.2.2 Определение массы ножей ботводробителя

Так как за основу центрального ножа взят нож с серийной машины КИР – 1,5 массой $m = 1,468$ кг и он нагружен наиболее полно, так как он срезает

несколько стеблей на вершине грядки, поэтому остальные ножи взяты меньшей массы: $m_1 = 1,02$ кг, $m_2 = 0,663$ кг, $m_3 = 0,626$ кг, $m_4 = 1,468$ кг [131].

2.5.2.3 Расчет угла отклонения ножей ботводробителя

Расчет угла отклонения ножа в момент удаления ботвы от радиального направления до полной остановки проводился с применением математической системы MathCAD.

Расчет проведен при следующих данных:

- радиус барабана $R = 0,2$ м;
- угловая скорость вращения барабана $\omega = 125$ с⁻¹;
- сила среза P_{cp} меняется от 25,8 до 79,26 Н.
- начальный угол отклонения ножа $\alpha_0 = 0$;
- относительная начальная угловая скорость ножа $\omega_0 = 0,05$ с⁻¹;
- время среза $t_{cp} = 0,02$ с;
- время остановки ножа $t_{ост} = 0,015$ с.

Все данные для расчета взяты из конструктивных характеристик ботвоудаляющей машины БД – 4М и определены экспериментально [93, 131].

Расчеты угла отклонения при различных значениях силы среза приведены в таблицах 2.2, 2.3 и 2.4 [131].

Таблица 2.2 – Расчет угла отклонения ножа при минимальном значении силы среза

Номер ножа	Масса ножа	Один росток ($P_{cp} = 25,8$ Н)			Три ростка ($P_{cp} = 77,4$ Н)			Пять ростков ($P_{cp} = 129$ Н)		
		Угол среза	Угол остановки	Угол отклонения	Угол среза	Угол остановки	Угол отклонения	Угол среза	Угол остановки	Угол отклонения
	m , кг	α_{cp} , град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град	α_{cp} , град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град	α_{cp} , град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град
1	1,02	0,94	0,74	1,68	2,82	2,22	5,04	4,7	3,67	8,37
2	0,663	2,08	0,19	2,27	6,24	0,43	6,67	10,4	0,48	10,88
3	0,826	1,67	0,47	2,14	5,0	1,34	6,34	8,35	2,1	10,45
4	1,468	1,35	0,64	1,99	4,01	1,89	5,9	6,76	3,06	9,82

Таблица 2.3 – Расчет угла отклонения ножа при среднем значении силы среза

Номер ножа	Масса ножа	Один росток ($P_{cp} = 52,5$ Н)			Три ростка ($P_{cp} = 157,5$ Н)			Пять ростков ($P_{cp} = 262,5$ Н)		
		Угол среза	Угол останки	Угол отклонения	Угол среза	Угол останки	Угол отклонения	Угол среза	Угол останки	Угол отклонения
	m , кг	$\alpha_{ср}$, град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град	$\alpha_{ср}$, град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град	$\alpha_{ср}$, град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град
1	1,02	1,9	1,5	3,4	5,74	4,47	10,21	9,56	7,36	16,92
2	0,663	4,23	0,33	4,56	12,7	0,44	13,14	21,17	0,33	21,5
3	0,826	3,4	0,93	4,33	10,2	2,46	12,66	17,0	3,5	20,5
4	1,468	2,75	1,29	4,04	8,26	3,69	11,95	13,76	5,81	19,57

Таблица 2.4 – Расчет угла отклонения ножа при максимальном значении силы среза

Номер ножа	Масса ножа	Один росток ($P_{cp} = 79,26$ Н)			Три ростка ($P_{cp} = 237,78$ Н)			Пять ростков ($P_{cp} = 396,3$ Н)		
		Угол среза	Угол останки	Угол отклонения	Угол среза	Угол останки	Угол отклонения	Угол среза	Угол останки	Угол отклонения
	m , кг	$\alpha_{ср}$, град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град	$\alpha_{ср}$, град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град	$\alpha_{ср}$, град	$\alpha_{ост}$, град	φ , град
1	1,02	2,89	2,27	5,16	8,66	6,69	15,35	14,44	10,98	25,92
2	0,663	6,39	0,44	6,83	19,18	0,07	19,25	31,96	2,86	24,82
3	0,826	5,15	1,37	6,52	15,4	3,3	18,7	25,66	3,96	29,62
4	1,468	4,16	1,93	6,09	12,47	5,34	17,81	20,78	8,09	28,87

Выводы по 2-ой главе

1. На основе анализа конструкций роторных ботвоудалителей нами предложен новый вариант ротора ботводробителя с шарнирными ножами и переменным диаметром резания. Такая конструкция обеспечивает копирование картофельных грядок и дает возможность максимального удаления ботвы и растительных остатков.

2. Разработана математическая модель, устанавливающая связь между параметрами шарнирных ножей бодводробителя и срезаемой массой ботвы, что позволило определить отклонение шарнирных ножей от радиального положения. Установлено, что все ножи отклоняются от радиального положения не более чем на 30^0 , что обеспечивает стабильную работу ротора.

3. На основе исследования профиля грядок и учитывая «охват» ножей поверхности грядки мы графоаналитическим методом определили:

- переменную длину четырех ножей, которая равна: $L_1 = 375$ мм – эти ножи срезают ботву в междурядьях, $L_2 = 310$ мм, $L_3 = 220$ мм и $L_4 = 175$ мм - эти ножи срезают ботву на вершине грядки;
- массы ножей, равные 0,663, 0,826, 1,02 и 1,468 кг.

ГЛАВА 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОТОРА БОТВОДРОБИТЕЛЯ С ШАРНИРНЫМИ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

3.1 Программа лабораторных исследований

В программу лабораторных исследований вошли вопросы:

- определение усилия среза единичного стебля;
- определение линейной скорости ножа при безподпорном срезе единичного стебля;
- исследование относительного движения ножа в поле центробежных сил;
- экспериментальное определение основных параметров ножей модернизированной ботвоуборочной машины.

3.2 Лабораторные исследования ротора ботводробителя с шарнирными режущими элементами

3.2.1 Методика определения усилия среза единичного стебля

Экспериментальные исследования проводились с использованием государственных и отраслевых стандартов: ГОСТ 24026-80 - исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения, ГОСТ 20915-75 - сельскохозяйственная техника. Методы определений условий испытаний, ОСТ 70.4.4-80 - первичные материалы испытаний. Оценка техники безопасности проводилась с использованием ГОСТ 12.2.11-85 [34, 136].

Для исследования технологического процесса среза в соответствии с математической теорией выборочного метода производилась случайная неповторная выборка. У каждого образца замерялась длина, диаметр, данные записывались в таблицу. Одновременно определялась влажность свежесрезанной картофельной ботвы [67, 68].



1- нож; 2 – ротор; 3 – противовес; 4 – стебель картофельной ботвы

Рисунок 3.1 – Общий вид стенда для определения качества среза единичного стебля

3.2.2 Определение усилия среза единичного стебля

Для исследования было взято три ножа с углом заточки $\delta = 30^\circ, 45^\circ$ и 60° .

Угол резания γ изменялся в пределах $\gamma = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 50^\circ$ и 70° .

Вначале определялся оптимальный угол заточки δ по наименьшей средней удельной работе. Режущий элемент, у которого удельная работа оказалась минимальной по сравнению с двумя другими, принят для дальнейшего исследования.

Среднее усилие среза единичного стебля для данной выборки вычислялось по формуле:

$$P_{cp} = \frac{A_{cp}}{d_{cp}} = \frac{q_{cp} \cdot F_{cp}}{d_{cp}}, \quad (3.1)$$

где A_{cp} – средняя работа среза;

q_{cp} – среднеудельная работа среза;

d_{cp} – средний диаметр стебля.

С целью определения этих величин по результатам исследований строились дискретные вариационные ряды, при помощи которых определялись данные величины. Для нахождения среднего значения искомой величины использовалась зависимость, которая представлена здесь в общем виде:

$$\sum_{i=1}^m \frac{x_i - \alpha}{K} n_i, \quad (3.2)$$

$$\bar{x} = \sum_n^{i=1} K + \alpha,$$

где $\bar{x}$ – определяемая средняя величина;

α – слагаемая величина, которая занимает срединное положение в данном ряду;

K – компенсирующий множитель, берется как общий множитель разностей $x_i - \alpha$;

n – число изучаемых объектов;

m – число классов.

Дисперсия определялась по формуле:

$$\tau^2 = \sum_{i=1}^m \frac{\left(\frac{x_i - \alpha}{K} \right)}{n} n_i K^2 - (\bar{x} - \alpha)^2. \quad (3.3)$$

Значение среднеквадратичного отклонения определялось путем извлечения квадратного корня из дисперсии.

Предельную ошибку выборки или величину наибольшего отклонения генеральной средней от выборочной определили по формуле:

$$P(i\bar{x} - \bar{x}_0 i \leq T) = \Phi\left(\frac{T}{\sigma_{\bar{x}}}\right), \quad (3.4)$$

где $\bar{x}_0$ – генеральная средняя величина;

x – случайная величина;

T – предельная ошибка выборки;

σ_x – среднеквадратичная ошибка выборочной средней повторной выборки.

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}. \quad (3.5)$$

Функция $\Phi(t\alpha)$ определяется равенством:

$$\Phi(t\alpha) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t\alpha} e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

а значения ее находятся по таблице.

Используя зависимость и найдя значение интегральной функции нормального распределения по таблице с заданной гарантийной вероятностью, можно записать:

$$\frac{T}{\sigma_{\bar{x}}} = t\alpha, \quad (3.6)$$

где $t\alpha$ – нормированная точность, определяемая по таблице.

Из формулы предельная ошибка выборки равна:

$$T = t\alpha \sigma_{\bar{x}}. \quad (3.7)$$

Таким образом, границы, в которых включена генеральная средняя, чтобы вероятность невыхода за эти границы была равна данной условию величине гарантийной вероятности, будет $\bar{x} - T$, $\bar{x} + T$ (верхняя), а интервал, в котором заключена интегральная средняя, будет $(\bar{x} - T, \bar{x} + T)$.

При организации выборочного наблюдения весьма часто ставится задача указать тот минимальный объем выборочной совокупности n , при котором

предельная ошибка выборки с заданной вероятностью α не превосходит требуемой величины.

Данная условием вероятность α определит значение аргумента $x = t\alpha$, при котором $\Phi(t\alpha) = \alpha$.

В соответствии с формулой 4 и выражением средней квадратической ошибки 5 можем записать, что значение параметра $t\alpha$ равно:

$$t\alpha = \frac{T}{\sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n}}},$$

откуда:

$$\sqrt{\frac{\sigma_x^2}{n}} = \frac{T}{t\alpha}.$$

Возведя обе части в квадрат, получим формулу для определения количества необходимых опытов n :

$$n = \frac{t_\alpha^2 \sigma_x^2}{T^2}. \quad (3.8)$$

Надежность α принимается одинаковой для однотипных исследований. При проектировании точных измерений в физике $\alpha = 0,995$, для машиностроения $\alpha = 0,95$, для исследований в области сельского хозяйства $\alpha = 0,7...0,8$.

Ориентировочную величину среднеквадратичного отклонения измеряемой величины устанавливают либо по данным аналогичных ранее проведенных исследований, либо на основании предварительной оценки по размаху значений признака в малой выверке $n \leq 10$. В последнем случае:

$$\sigma_x = \frac{R}{\alpha} = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\alpha}, \quad (3.9)$$

определяется по таблице 3.1.

При нахождении вида кривой распределения применяют группировку изучаемых объектов на классы по величине признака. Число классов N при

точных исследованиях не превышает 25, при средних 10...15 и минимально допустимым считается 5...6 классов.

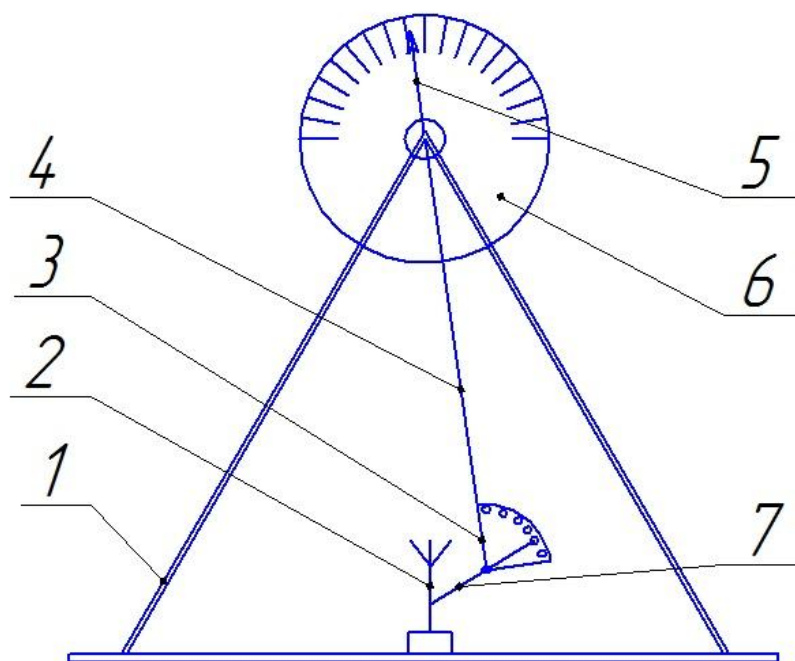
Таблица 3.1 - Данные определения α в зависимости от количества опытов

2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,970	3,075

Необходимая точность T индивидуального измерения берется меньше или равной половине длины классового интервала R_k .

$$T \leq \frac{R_k}{2} \frac{1}{2} \frac{x_{\max} - x_{\min}}{N}. \quad (3.10)$$

Для выполнения намеченной программы исследований был разработан и изготовлен прибор, работающий по принципу маятникового копра (рисунок 3.2).



1 – станина; 2 – стержень; 3 – регулировочная пластина; 4 – маятник; 5 – стрелочный указатель; 6 – шкала; 7 – нож

Рисунок 3.2 – Устройство для определения работы среза

Работу, расходуемую маятником на срез картофельной ботвы и трения о его концы, выражали через константы маятника и величину его углов взлета, холостого и рабочего [6, 44, 45, 109, 135].

Эксперименты проводились в хозяйстве ООО "Авангард" и в лаборатории кафедры СХДСМ ФГБОУ ВПО РГАТУ 15 сентября 2013 г. Перед началом экспериментального исследования была снята характеристика участка и культуры (см. полевые испытания) [46, 47, 48].

Руководствуясь математической теорией выборочного метода, с участка в 100 м^2 была произведена выборка в количестве 24 образцов. Влажность данной выборки равнялась 84,5 %, Результаты экспериментов заносились в таблицу .

Во время сравнительной оценки ножей всего было произведено 137 срезов. Из них с углом заточки, равным 30° - 50 срезов, с углом заточки $\delta = 45^\circ$ – 42 среза и с углом заточки $\delta = 60^\circ$ – 45.

По результатам экспериментов была определена средняя удельная работа среза в зависимости от угла заточки ножа и угла резания γ . Средние значения полученных данных сведены в таблицу.

Таблица 3.2 – Удельная работа среза

Угол заточки, °	Угол резания, °							Средняя удельная работа среза, кг/см^2
	0	10	20	30	40	50	70	
30	9,15	-	8,126	-	7,36	6,44	-	7,7
45	-	14,05	-	11,2	-	8,32	6,70	11,7
60	13,40	-	12,27	-	11,90	10,21	-	11,9

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие заключения.

Для любого ножа общей тенденцией явилось уменьшение средней удельной работы среза с увеличением угла резания. Так, например, для ножа с углом заточки $\delta = 30^\circ$ средняя работа среза при угле резания $\gamma = 0^\circ$ равнялась $9,15 \text{ кг/см}^2$, а при $\gamma = 50^\circ$ – $6,44 \text{ кг/см}^2$.

С увеличением угла заточки ножа δ средняя работа среза увеличивается.

При угле заточки ножа, равном 30° , средняя удельная работа среза оказалась минимальной и равной $7,7 \text{ кг/см}^2$.

Из наблюдений установлено, что с увеличением угла резания γ , особенно в интервале от 50° до 70° , наблюдается выталкивание стебля. Поэтому угол резания, равный 50° , является предельным.

На основе анализа данных, полученных при проведении сравнительных исследований ножей, нож с углом заточки, равный 30° , принимается как установочный. По результатам опытов при срезе стеблей ботвы установочным ножом определялось среднее усилие среза единичного стебля.

Средний диаметр стеблей на поле, с которого взята выборка, заключен в пределах 6,22 мм до 15,30 мм и он равен 10,76 мм [48, 49].

Для выбранного ножа по формуле (3.1) определили среднее усилие среза. Оно равно 7,7 кг.

3.2.3 Методика определения линейной скорости ножа ботводробителя при безподпорном срезе единичного стебля

Исследование бесподпорного среза картофельной ботвы было проведено с целью выявления минимально возможной скорости, при которой получался бы чистый срез стебля.

Перед проведением исследований снималась характеристика участка и культуры. Исследование велось на различных режимах скоростей ножа, начиная от 17 м/сек. и кончая 38 м/сек. Для одного опыта подбирались по 30 образцов. У каждого образца замерялись длина и на расстоянии 100 мм от зажима его диаметр. Одновременно определялась влажность свежесрезанной картофельной ботвы [65, 68].

Параметры ножа выбраны по результатам лабораторных исследований технологического процесса среза. Угол заточки и угол резания взяты по 30° . Острота лезвия заточки ножа определялась по свинцовому отпечатку и выбиралась равная $25^\circ \dots 35^\circ$.

Параметры, характеризующие картофельную ботву, результаты опытов заносили в сводную таблицу 3.3.

Минимально допустимая скорость среза определялась 100%-ным чистым срезом всех 30 образцов опыта [65, 66].

С целью экспериментального определения скорости бесподпорного среза был изготовлен специальный стенд (рисунок 3.3).



1- ротор; 2 –противовес; 3 – нож; 4 – защитный кожух; 5 – стебель картофельной ботвы.

Рисунок 3.3 – Стенд для определения скорости бесподпорного среза:

Результаты проведенных исследований заносились в сводную таблицу 3.3.

Перед проведением экспериментов шкала магнитного усилителя была протарирована на восемь линейных скоростей ножа: 17, 20, 23, 26, 29, 32, 36, 38 м/сек.

Нож состоит из двух частей: из собственно ножа 4 и противовеса 5.

По исследованию качества среза стебля ботвы определяли искомую скорость бесподпорного среза.

Таблица 3.3 – Результаты исследований по определению скорости бесподпорного среза

Номер опыта	Диаметр картофельной ботвы, мм	Длина, мм	Влажность %	Угол резания, градус	Угол заточки, градус	Скорость среза м/сек	Процент среза	Вид и характер среза
1	9...12	500...750	84,5	30	30	17	18	Срез рваный. Остальные образцы поломаны
2	10...12	510...730	84,5	30	30	20	29	То же
3	9...11	520...730	84,5	30	30	23	55	-
4	10...12	510...700	84,5	30	30	26	75	-
5	9...12	490...465	84,5	30	30	29	90	Срез несколько улучшен, заусенцы меньше
6	9...12	500...690	84,5	30	30	32	94	То же
7	9...12	500...690	84,5	30	30	35	100	Наблюдаются образцы с рваным срезом
8	10...12	485...460	84,5	30	30	38	100	Срез чистый

3.2.4 Определение скорости бесподпорного среза

Эксперименты проводились в хозяйстве ООО "Авангард" и в лаборатории кафедры ТМ и РМ ФГБОУ ВПО РГАТУ 15 сентября 2013 г [15], на специальном стенде (рисунок 3.3). Результаты исследований занесены в таблицу 3.3.

Анализ полученных данных показывает, что при скорости бесподпорного среза, равной 17 м/сек., только 8% партии первого опыта оказалось срезанными, остальные были надломлены и вообще не срезаны. Срез рваный. На рисунке 3.3 показаны образцы стеблей, срезанных при данной скорости.

По мере увеличения скорости среза количество срезанных стеблей от общего числа партии увеличивается и улучшается качество. При скорости среза, равной 36 м/сек., 100 % стеблей опыта оказались срезанными, но на

некоторых образцах наблюдался нечистый срез. А при скорости, равной 38 м/сек, все 100 % образцов оказались срезанными с вполне удовлетворительным качеством среза.

Таким образом, установлено, что линейная скорость, равная 36-38 м/сек, является вполне достаточной для производства качественного бесподпорного среза картофельной ботвы.

3.2.5 Результаты исследования угла отклонения ножей ботводробителя

Исследования на стенде были проведены в августе 2013 г. в лаборатории кафедры СХДСМ РГАТУ. Образцы картофельной ботвы брались одного диаметра $d = 12$ мм и длиной, равной 150 мм. Пучки были составлены из шести образцов. Влажность составляла 84,5 %.

Для уточнения полученных параметров были проведены экспериментальные исследования. Исследование бесподпорного среза картофельной ботвы было проведено с целью выявления минимально возможной скорости, при которой получался бы чистый срез стебля [6, 16]. Перед проведением исследований снималась характеристика участка и культуры. Исследование велось на различных режимах скоростей ножа, начиная от 17 м/сек и заканчивая 38 м/сек. Для одного опыта подбирались по 30 образцов. У каждого образца замерялись длина, расстояние 100 мм от зажима и его диаметр. Одновременно определялась влажность свежесрезанной картофельной ботвы.

Параметры ножа выбраны по результатам лабораторных исследований технологического процесса среза. Угол заточки и угол резания взяты по 30°. Острота лезвия заточки ножа определялась по свинцовому отпечатку и выбиралась равная 25°...35° [5]. Параметры, характеризующие картофельную ботву, приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Исходные параметры картофельной ботвы

Номер опыта	Культура и сорт	Диаметр картофельной ботвы, мм	Длина, мм	Влажность %
1	Картофель сорта «Санте»	9...12	500... 750	84,5
2	Картофель сорта «Санте»	10...12	510... 730	84,5
3	Картофель сорта «Санте»	9...11	520... 730	84,5
4	Картофель сорта «Санте»	10...12	510... 700	84,5
5	Картофель сорта «Санте»	9...12	490... 465	84,5
6	Картофель сорта «Санте»	9...12	500... 690	84,5
7	Картофель сорта «Санте»	9...12	500... 690	84,5
8	Картофель сорта «Санте»	10...12	485... 460	84,5

Перед проведением экспериментов шкала магнитного усилителя была протарирована на восемь линейных скоростей ножа: 17, 20, 23, 26, 29, 32, 36, 38 м/сек. По исследованию качества среза стебля ботвы определяли искомую скорость бесподпорного среза. По результатам проведенных исследований полученные данные обрабатывались в программе Statistica v.8. Получено уравнение регрессии:

$$Var2 = -194,3049 + 15,7414x - 0,2097x^2, \quad (3.11)$$

где $Var2$ – качество среза ботвы (процент среза стеблей), %;

x – скорость среза, м/с.

Адекватность полученной модели подтверждается коэффициентом детерминации $R^2 = 0,98488627$ и коэффициентом регрессии $R = 0,99241436$. Все коэффициенты уравнения регрессии значимы. На основании уравнения регрессии построена зависимость качества среза ботвы от скорости ножа (рисунок 3.5).

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы:

1. Чем больше масса ножа, тем меньше угол отклонения.
2. Чем больше сила среза, тем больше угол отклонения.

3. При большем количестве стеблей ботвы угол отклонения больше.

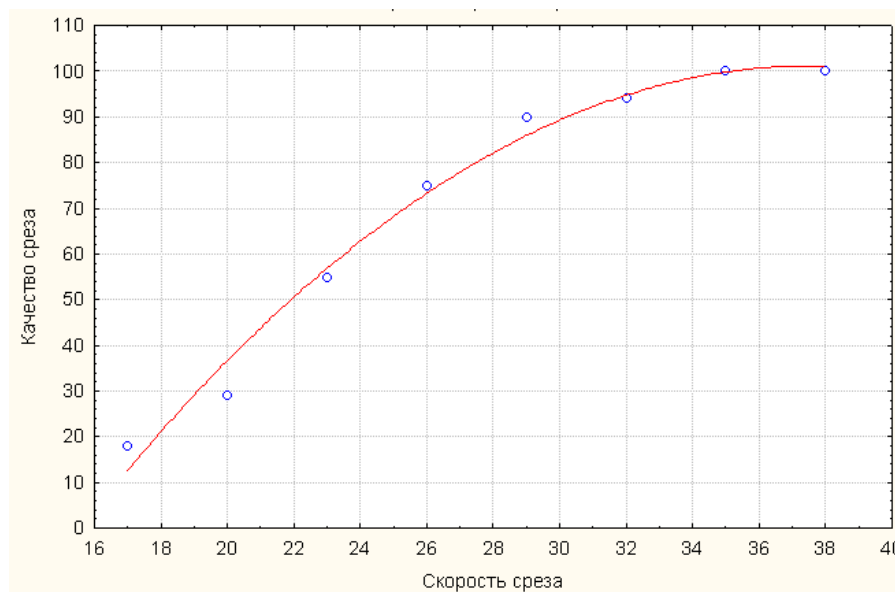


Рисунок 3.4 - Зависимость качества среза ботвы от скорости ножа ботводробителя

Анализ рисунка 3.4 показал, что качество среза ботвы интенсивно возрастает до значений скорости среза около 35 м/с, последующее увеличение скорости обеспечивает качественный срез, но может привести к увеличению энергозатрат.

3.2.6 Экспериментальное определение основных параметров ножей модернизированного ботводробителя БД-4М

Аналитический метод определения центра масс и моментов инерции деталей и звеньев сельскохозяйственных машин является довольно сложным и громоздким с точки зрения математического аппарата вычислений. Это связано со сложностью их геометрической формы, неоднородностью материала, скрытыми дефектами изготовления и т.д., поэтому большой практический интерес представляет экспериментальный прием определения этих параметров.

Геометрические характеристики ножей приведены в таблице 3.5 [24, 131].

Таблица 3.5 – Геометрические характеристики ножей

Номер ножа	Масса ножа	Длина ножа	Расстояние от точки подвеса до центра масс ножа	Момент инерции ножа относительно точки подвеса
	m , кг	l , м	ρ_c , м	I_B , кг/м ²
1	1,02	0,375	0,064	0,01
2	0,663	0,310	0,072	0,007
3	0,826	0,220	0,073	0,009
4	1,468	0,175	0,12	0,02

Для определения центров масс и моментов инерции модернизированных ножей ботвоудаляющей машины БД-4М использовались стандартные методики и лабораторное оборудование по теории механизмов и машин.

Момент инерции тела относительно оси подвеса определяем по формуле:

$$J_{oz} = \frac{PL_1T^2}{4\pi^2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (3.12)$$

где P – вес тела, Н;

T – период колебаний, с;

L_1 – расстояние от оси подвеса до центра тела, м.

Вес тела определяем методом взвешивания на электронных весах марки ВЛТК и в результате взвешивания получили данные:

$$P_1 = 14,4 \text{ Н}; P_2 = 6,5 \text{ Н}; P_3 = 8,1 \text{ Н}; P_4 = 10 \text{ Н}.$$

Центр масс ножей определяем методом подвеса. Для этого устанавливаем ножи на точку опоры и уравниваем в плоскости YOX (рис. 3.5) и после уравнивания штангенциркулем замеряем размеры L_1 .

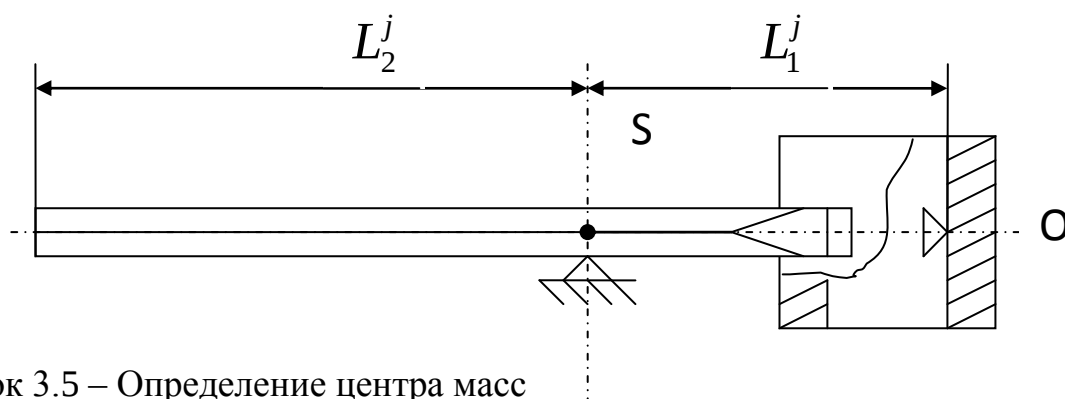


Рисунок 3.5 – Определение центра масс

В результате замеров получили:

$$L_1^1 = 0,064\text{м}; L_1^2 = 0,072\text{м}; L_1^3 = 0,073\text{м}; L_1^4 = 0,12\text{м}.$$

Период колебаний T (рисунок 3.6) определяем экспериментально по формуле:

$$T = \frac{t}{n}, \text{с}, \quad (3.13)$$

где t – время колебаний, с;

n – число полных колебаний.

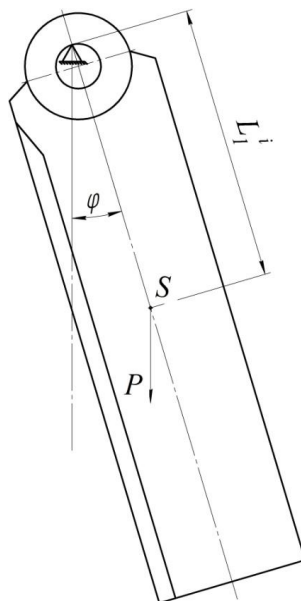


Рисунок 3.6 – Определение периода колебаний ножей

Для определения моментов инерции ножей подвешиваем их на стенде, отклоняем на 30° и определяем время и число колебаний [12]. По формуле (3.13) определяем период колебаний T , а по формуле (3.12) определяем момент инерции относительно оси подвеса. Результаты определения периода колебаний приведены в формуле (3.14) определяем период колебаний T , а по формуле (3.12) определяем момент инерции относительно оси подвеса. Результаты определения периода колебаний приведены в таблице 3.6, а моментов инерции в сводной таблице 3.7. Момент инерции ножей $J_{ози}$ относительно центра тяжести (теорема Штейнера) определяем по формуле:

$$J_{szi} = J_{ози} \frac{m_i}{(L_i)^2}. \quad (3.14)$$

Таблица 3.6 – Результаты опытов

Номер ножа	Номер опыта	Время колебаний, с	Число колебаний	Среднее время колебаний, с	Среднее число колебаний	Период колебаний, с
1	1	20,8	30	20,5	30	0,68
	2	20,1	30			
	3	20,6	30			
2	1	22,7	30	22,6	30	0,75
	2	22,5	30			
	3	22,6	30			
3	1	23,7	30	23,5	30	0,78
	2	23,8	30			
	3	24,1	30			
4	1	26,1	30	26,1	30	0,87
	2	26,2	30			
	3	26,0	30			

Таблица 3.7 – Сводная таблица лабораторных исследований

Номер ножа	Вес, Н	Расстояние от точки подвеса до центра массы, м	Период колебаний, с	Момент инерции относительно оси подвеса кг/м ²	Момент инерции относительно центра тяжести кг/м ²
1	10,2	0,064	0,68	0,01	0,004
2	0,663	0,072	0,75	0,007	0,0035
3	0,626	0,073	0,78	0,009	0,0045
4	1,468	0,12	0,87	0,02	0,005

Таким образом, полученные экспериментальным путем основные параметры ножей позволят проводить рациональный динамический анализ и синтез основных рабочих органов ботводробителя БД-4М, что значительно повысит эффективность его работы.

Вывод по 3-ей главе

В результате проведенного лабораторного исследования процесса динамического среза картофельной ботвы модернизированным ботводробителем установлено: среднее усилие среза единичного стебля $P = 7,7$ кг при определенной влажности 84,5 % м/с и необходимая линейная скорость режущего элемента для осуществления бесподпорного среза $V_{cp} = 36 - 38$ м/с.

ГЛАВА 4 ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО РОТОРА БОТВОДРОБИТЕЛЯ С ШАРНИРНЫМИ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

4.1 Программа полевых исследований

В программу полевых исследований входят:

1. Снятие технической характеристики экспериментального и серийного ботводробителя
2. Снятие характеристики участка испытаний.
3. Проведение лабораторно-полевых исследований с определением: влажности почвы, исследование профиля грядки [21, 34].
4. Проведение испытаний модернизированного ботводробителя в хозяйственных условиях [22].

4.2 Объект исследования и техническая экспертиза

При уборке картофелеуборочными машинами и комбайнами производительность их в значительной степени зависит от состояния картофельной ботвы. При сильно развитой и полёглой ботве производительность уборочных машин резко падает из-за забивания рабочих органов, а в отдельных случаях их работа вообще невозможна.

Поэтому для облегчения работы картофелеуборочных машин картофельную ботву перед уборкой необходимо удалять. Но процесс уборки ботвы весьма трудоёмкий, включающий ряд операций, таких как срез, сгребание и транспортировку, каждая из которых выполняется отдельной машиной [62, 63, 64, 131, 139, 154].

В настоящее время из отечественных машин в основном применяются ботводробители КИР-1.5, УБД-3, БД-4, которые имеют ротор с постоянным диаметром резания. В процессе эксплуатации замечено, что эти машины

обладают рядом недостатков, одним из которых является невозможность срезания ботвы и растительных остатков в междурядьях картофельных грядок [67, 68, 69, 70, 129].

В результате при уборке картофеля копателями и картофелеуборочными комбайнами забиваются основные рабочие органы, что приводит к снижению производительности технологического процесса [7].

Мы предлагаем модернизированный ботвоудалитель БД-4М, с переменным диаметром резания (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Модернизированная четырехрядная ботвоуборочная машина

Технологический процесс протекает следующим образом: при движении агрегата ротор (3) с шарнирными ножами (4) вращается от ВОМ трактора. Ножи (4) срезают, измельчают ботву и бросают её на поле. Высота среза регулируется опорным колесом (5), ширина захвата машины $B_M = 2,8$ м, машина убирает ботву с 4-х рядков.

В разработанной нами конструкции ботвоуборочной машины БД-4М принимаем 4 размера ножей (рисунок 4.2) [129].

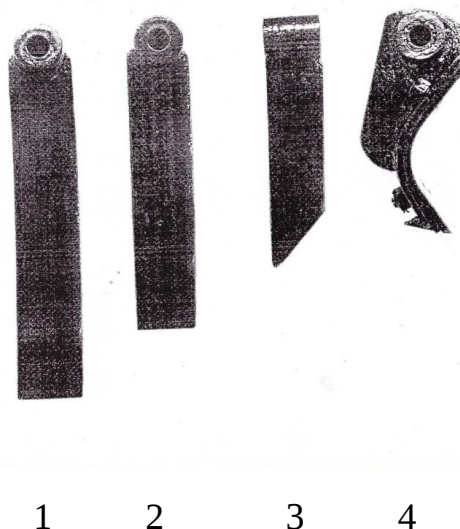


Рисунок 4.2 – Экспериментальные ножи

Ножи 1, 2, 3 имеют плоскую форму, предназначены для дробления картофельной ботвы и растительных остатков в междурядьях обрабатываемых грядок. Каждому такому ножу соответствует аналогичный нож, расположенный под углом 180° к первому [129, 133].

Нож 4 лопаткообразный в процессе работы проходит над картофельным гнездом и обеспечивает срезание ботвы над клубневым гнездом. Все ножи изготавливаются из полосовой стали марки Сталь 65Г.

Таким образом, использование модернизированного ротора с переменным диаметром резания с шарнирными режущими элементами позволяет улучшить их производительность и качество дробления и уборку ботвы в междурядьях картофельных грядок и значительно повысить эффективность комбайновой уборки.

4.3 Техническая экспертиза

Государственные сертификационные испытания проводят серийные образцы машин и образцы изделий, подготовленные к производству для определения соответствия фактических значений показателей качества

требованиям, установленным в стандартах, техническим условиям на конкретные машины, международных стандартов и в другой нормативно-технической документации с целью решения вопроса о выдаче сертификата соответствия.

Государственные испытания проводят в соответствии с рабочими методиками, изложенными в государственных, отраслевых стандартах, руководящих документах на испытания конкретных видов машин. При этом их могут проводить одна или несколько зональных машиноиспытательных станций.

Число станций, проводящих испытания, зависит от числа почвенно-климатических зон страны, для которых она предназначена, от финансовых возможностей и др. Число образцов машин (изделий), представленных на испытаниях, устанавливают планом испытаний.

Типовая программа государственных испытаний, включая виды оценок, приведена в таблице 4.1.

Максимальное число показателей определяют при приемочных испытаниях.

Техническая экспертиза является наиболее универсальной и типовой практически для всех типов сельхозтехники и включает первичную, текущую и заключительную экспертизу машин.

Первичная техническая экспертиза – это определение конструктивных параметров машин в целом и отдельных ее рабочих органов, оценка кинематических параметров, выявление соответствия машины требованиям технического задания и техническим условиям на изготовление, оценка технического состояния машины и первоначальных размеров (при необходимости) трущихся деталей, определение пределов регулировок отдельных рабочих органов, монтажепригодности и трудоемкости сборки, определение геометрических размеров отдельных деталей, при необходимости оценка фактических заправочных объемов для топлива, масла, воды, технологического материала и др. При первичной технической экспертизе

оценивают качество сборки машин и проводят обкатку (прокручивание) на режиме холостого хода.

Таблица 4.1 – Основные данные и характеристики технической экспертизы

Наименование	Единица измерения	Серийный БД- 4	Экспериментальный БД – 4М
Тип		Навесной	Навесной
Производительность за час чистой работы	га/ч	0,65...0,70	0,72...0,76
Рабочая скорость движения агрегата	кг/ч	5,8...7,0	6,5...9,0
Ширина захвата	м	2,8	2.8
Высота среза	см	0..10	0...10
Транспортная скорость	км/ч	16	16
Масса машины:			
- с зап. частями и инструментом;	кг	910	935
- без зап. частей и инструмента.	кг	880	900
Габаритные размеры	мм		
Ширина		3172	3172
Длина		322	322
Высота		1250	1250
Дорожный просвет	мм	650	650
Характеристика рабочих органов			
а) шарнирные ножи переменной длины			
Агрегатируется с тракторами		МТЗ-80	МТЗ-80
Привод		от ВОМ	от ВОМ

Текущая техническая экспертиза служит для выявления причин потери работоспособности отдельных узлов и деталей (поломка, соскакивание приводных цепей, ремней, нестабильность рабочих режимов и др.). В случае выхода деталей из строя определяют соответствие изготовления детали чертежам по геометрическим размерам, термообработке марки заданного материала, качество смазочного материала и соблюдение регулировок, качество сварного шва и др.

Заключительная техническая экспертиза проводится по окончании всех видов оценок и, как правило, при полностью разобранный машине. При этом выявляют все деформации рамы и отдельных деталей, оценивают степень износа трущихся сопряжений, вытяжку цепей, ремней, тросов, наличие трещин на элементах конструкции; при необходимости дают оценку

материалов дефектной детали с наличием трещины, при большой деформации и пр., оценивают запас регулировок и пригодность машины к дальнейшей эксплуатации.

4.4 Методика исследования профиля грядок

Значение одного из главных параметров ножа – длины мы определим из экспериментальных исследований профиля картофельной грядки [129]. Для этого нужно на картофельном поле произвести замеры профиля картофельной грядки. По полученным данным обосновать переменные длины ножей с тем, чтобы ножи охватывали грядку и удаляли картофельную ботву сверху, с боков и в междурядьях.

Замеры гряд мы проводили 3 сентября 2013 г. в ООО Авангард Рязанского района.

Перед началом испытаний была снята характеристика участка (таблица 4.2) и характеристика культуры картофеля (таблица 4.3) [34, 93, 129].

Таблица 4.2 – Характеристика участка картофельного поля

Наименование показателей	Значение показателей
Дата снятых характеристик	20.08.2013
Наименование хозяйства	ООО «Авангард» Рязанского района, Рязанской области
Тип почвы	Средний суглинок
Рельеф	Ровный
Микрорельеф	-
Твердость почвы, МПа	19-20
Влажность почвы (%) по слоям:	
0...5	12,7
5...10	13,1
10...15	14,6
15...20	17
20...25	18
Масса сорняков, кг/га	700
Предшественник	Зерновые
Предшествующая обработка	Рыхление и окучивание

Таблица 4.3 – Характеристика культуры картофеля

Наименование показателей	Значение показателей
Дата снятия характеристики	20.08.2013
Сорт картофеля	«Санте»
Способ посадки	Рядовой
Ширина междурядий, см	70
Биологический урожай ботвы, ц/га	220
Фактический урожай клубней, ц/га	181
Влажность ботвы, %	84,5
Высота гребней, см	19,5
Количество кустов, тыс. шт/га	36
Характеристика гнезда:	
Ширина гнезда, см	15,1
Глубина залегания нижнего клубня, см	15,5

Мы выдвинули гипотезу о том, что профиль грядки располагается практически по кривой, описуемой синусоидой, вида $y = A \sin \varphi$, где A – высота грядки. Для проверки этого предположения нами был взят прибор для изучения профиля грядки (рисунок 4.3) [34].



Рисунок 4.3 – Прибор для измерения профиля грядок

Прибор представляет собой рамку с закрепленными на ней двадцатью восемью подвижными элементами с засечками, расположенными на расстоянии 50 мм друг от друга, которая устанавливается на грядки. Полученные данные заносятся в компьютер (программа математического моделирования Math CAD) и при помощи математических вычислений строится кривая, которая сравнивается с теоретической синусоидой и получается среднеквадратическое отклонение в процентах [137].

4.5 Методика агротехнической оценки

Перед проведением полевых исследований произвели снятие технической характеристики серийного ботводробителя БД-4 и модернизированного БД-4М, результаты занесли в таблицу 4.4 [34].

Также был выбран участок картофельного поля и определена его характеристика с определением типа почвы, влажности ботвы, массы сорняков. Результаты замеров заносились в таблицу 4.4.

Кроме того, были сняты характеристики культуры картофеля с определением сорта картофеля, урожайности, состояния ботвы, высоты гребней и характеристики гнезда.

Влажность ботвы определялась ежедневно во время эксперимента, пробы на влажность брались в трехкратной повторности, влажность пробы определялась весовым методом. Влажность ботвы вычисляли по формуле [21, 34]:

$$W = \frac{c - a}{a} 100\%, \quad (4.1)$$

где c – масса влажной навески ботвы, г;

a – масса сухой навески ботвы, г [21, 34].

Твердость почвы определялась твердомером ПП-65-П, повторность измерений трехкратная.

Опыты проводились в следующем порядке. Подбирали участки с ровной поверхностью, на которых размечали делянки по 10 м, ротор устанавливали на высоту среза 8-10 см. Дробленую массу с одного погонного метра собирали на полотно отдельно по фракциям частиц до 2 см и выше.

Подсчитывалось процентное соотношение по количеству каждой фракции.

4.6 Полевые испытания модернизированного ботводробителя

Полевые испытания были проведены на поле ООО «Авангард». Испытания проводились в сравнении с серийным ботводробителем. За период испытаний было убрано 6,2 га. На рисунке 4.4 показан модернизированный ботводробитель при работе в поле [129].

Во время проведения полевых испытаний была проведена агротехническая и эксплуатационная оценка работы. Результаты испытаний приведены в таблице 4.4 [129].



Рисунок 4.4 – Модернизированный ботводробитель БД - 4М

Таблица 4.4 – Результаты испытаний

Наименование показателей	Серийный ботводробитель	Модернизированный ботводробитель
Культура	Картофель	
Сорт	Сантэ	
Урожайность, ц/га	181	181
Скорость движения агрегата, км/ч	7,0	8,5
Высота среза, см	8,0	8,0
Полнота уборки, %		
Срезано	70,5	81,5
Оставлено несрезанной ботвы	29,5	18,5
Состав измельченной массы по фракциям, %		
а) частиц до 2-х см	30,2	38,6
б) частиц свыше 2-х см	69,8	61,4

Выводы по 4-ой главе

1. Сравнительное полевое испытание модернизированного ротора ботводробителя, параметры которого выбраны на основе разработанных теоретических предпосылок, показали преимущества его как по полноте уборки, так и по потребной мощности холостого и рабочего ходов:

- полнота уборки картофельной ботвы составляет у модернизированного 81,5%, а у серийного – 70,5%, что на 11% меньше;
- несрезанной ботвы оставлено – 18,5%, а у серийного – 29,5%, что на 11% больше;
- качество измельчения частиц до 2 см повысилось до 38,6% , а у серийного составило 30,2 %, что на 8,4% меньше.

2. Установлено, что работа ботводробителя при скоростях режущих элементов ротора в пределах 35-38 м/сек является вполне удовлетворительной как по качеству измельчения, так и по чистоте уборки.

ГЛАВА 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО БОТВОДРОБИТЕЛЯ БД-4М

Для определения технико-экономических показателей применяемого ботводробителя проведем сравнительную оценку его с серийной машиной [1, 90, 91, 97, 98]. Исходные данные занесем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета технико-экономических показателей БД-4М

Наименование	Ед. изм.	БД-4	БД-4М
1. Агрегатирование		МТЗ-80	МТЗ-80
2. Производительность	га/ч		
- сменного времени		1,43	1,7
- эксплуатационного времени		1,5	1,84
3. Рабочая скорость движения	км/ч	7,0	8,5
4. Коэффициент использования			
- сменного времени		0,6	0,7
- эксплуатационного времени		0,7	0,82
5. Масса машины	кг	900	900
6. Оптовая цена	тыс. руб.		
- с/х машины		200	230
- трактора		1100	1100
7. Срок службы	лет	7	7
8. Норма амортизационных отчислений	%		
- с/х машины		13	13
- трактора		14,3	14,3
9. Отчисления на текущий ремонт	%	15	15
- с/х машины			
- трактора			
10. Обслуживающий персонал, механизаторов	чел	1	1
11. Часовые тарифные ставки со всеми видами доплат	руб.	19,8	19,8
12. Годовая нагрузка	час		
- с/х машины		200	200
- трактора		1200	1200
13. Расход ГСМ	кг/га	8,75	8,75

Базовый процесс:

БД-4

Проектируемый процесс

БД-4М.

Определение затрат труда

Затраты труда на эксплуатацию агрегата (чел.ч/га) определяются по формуле:

$$Z_{mp} = \frac{A_p}{W_{час}}, \quad (5.1)$$

где A_p – число людей, обслуживающих агрегат, чел. $A_p = 1$ чел.;

$W_{час}$ – часовая производительность, га/ч.

$$Z_{mp \cdot БД-4} = 0,7 \text{ чел.} \cdot \text{ч} / \text{га}.$$

$$Z_{mp \cdot БД-4M} = 0,58 \text{ чел.} \cdot \text{ч} / \text{га}.$$

Снижение затрат труда, %:

$$C = \frac{(Z_{mp \cdot БД-4} - Z_{mp \cdot БД-4M})}{Z_{mp \cdot БД-4}}, \quad (5.2)$$

$$C = 17\%.$$

Определение эксплуатационных издержек

Заработная плата обслуживающего персонала:

$$Z_{n1,2} = \frac{A_p \cdot C_p}{W_{см}}, \quad (5.3)$$

где $Z_{n1,2}$ – заработная плата обслуживающего персонала, руб./га;

C_p – часовая тарифная ставка механизатора, 119,8 руб.;

$W_{см}$ – сменная производительность агрегата, га/см.

$$Z_{n1} = 83,78 \text{ руб./га}.$$

$$Z_{n2} = 70,47 \text{ руб./га}.$$

Амортизационные отчисления:

$$A = \frac{B \cdot a \cdot \kappa}{100 \cdot W_{экс} \cdot T}, \quad (5.4)$$

где A – амортизационные отчисления, руб./га;

a – норма амортизационных отчислений %;

κ – коэффициент затрат на транспортировку 1,1;

B – балансовая стоимость машины;

$W_{\text{экс}}$ – эксплуатационная производительность, га/ч;

T – годовая нагрузка, ч.

а) с/х машины:

$$A_1 = 95,33 \text{ руб./га.}$$

$$A_2 = 77,72 \text{ руб./га.}$$

б) трактора:

$$A_1 = 96,13 \text{ руб./га.}$$

$$A_2 = 78,37 \text{ руб./га.}$$

Отчисления на ТОРХ:

$$A_p = \frac{B \cdot e \cdot \kappa}{100 \cdot W_{\text{экс}} \cdot T}, \quad (5.5)$$

где e – % годовых отчислений на техническое обслуживание, текущий ремонт и хранение.

а) с/х машины:

$$A_1 = 110 \text{ руб./га.}$$

$$A_2 = 89,67 \text{ руб./га.}$$

б) трактора:

$$A_1 = 100,8 \text{ руб./га.}$$

$$A_2 = 82,2 \text{ руб./га.}$$

Расход ГСМ:

$$\Gamma = C_{\kappa} \cdot P, \quad (5.6)$$

где Γ – расход горючего, руб./га.;

C_{κ} – комплексная стоимость ГСМ, руб./га.;

P – расход ГСМ, кг/га.

$$\Gamma = 306,25 \text{ руб./га.}$$

Сумма эксплуатационных издержек, руб./га:

$$H = 3_n + \sum A_1 + \sum A_2 + \sum A_{p1} + \sum A_{p2} + \Gamma, \quad (5.7)$$

$$H_1 = 792,29 \text{ руб./га.}$$

$$H_2 = 704,68 \text{ руб./га.}$$

Снижение эксплуатационных издержек, %:

$$C_n = \frac{(H_1 - H_2)}{H_1}, \quad (5.8)$$

$$C_n = 11,06.$$

Определение капиталовложений

Капитальные вложения определим по формуле:

$$K = \frac{\kappa \cdot B}{W_{\text{экс}} \cdot T}, \quad (5.9)$$

а) с/х машины:

$$K_1 = 733,33 \text{ руб./га.}$$

$$K_2 = 597,83 \text{ руб./га.}$$

б) трактора:

$$K_1 = 672,22 \text{ руб./га.}$$

$$K_2 = 548 \text{ руб./га.}$$

Всего капиталовложений, руб./га.:

$$\sum K_1 = 1405,55 \text{ руб./га.}$$

$$\sum K_2 = 1145,83 \text{ руб./га.}$$

Определение приведенных затрат

$$П = (H + K) \cdot E_n, \quad (5.10)$$

где $П$ – приведенные затраты, руб./га;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, $E_n = 0,15$;

$$П_1 = 329,68 \text{ руб./га.}$$

$$П_2 = 277,52 \text{ руб./га.}$$

Определение годового экономического эффекта от эксплуатации

$$\mathcal{E}_{\text{г.э}} = (P_1 - P_2) \cdot W_{\text{экс2}} \cdot T_2, \quad (5.11)$$

где $\mathcal{E}_{\text{г.э}}$ – годовой экономический эффект, руб.;

P_1 и P_2 – приведенные затраты соответственно на БД-4 и БД-4М;

$W_{\text{экс2}}$ – эксплуатационная производительность БД-4М;

T_2 – годовая нагрузка БД-4М, ч.

$\mathcal{E}_{\text{г.э}} = 19195$ руб.

Определение повышения производительности труда

$$P' = \frac{3_{\text{мп1}} - 3_{\text{мп2}}}{3_{\text{мп1}}}, \quad (5.12)$$

где P' – повышение производительности труда, руб.

$P' = 17,14$.

Годовая экономия затрат труда

$$\Gamma_{\text{г}} = (3_{\text{мп1}} - 3_{\text{мп2}}) \cdot W_{\text{экс2}} \cdot T_2, \quad (5.13)$$

$\Gamma_{\text{г}} = 44,16$.

Определение повышения производительности машины БД-4М

$$P_{\text{м}} = \frac{W_{\text{экс2}}}{W_{\text{экс1}}}, \quad (5.14)$$

$P_{\text{м}} = 1,22$.

Определение удельной материалоемкости

$$M = \frac{M}{W_{\text{осн}} \cdot T}, \quad (5.15)$$

где M – удельная материалоемкость, кг/ч.

$M_1 = 3$ кг/ч.

$M_2 = 2,45$ кг/ч.

Определение снижения удельной материалоемкости %

$$M_{\text{г}} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1}, \quad (5.16)$$

$$M_9 = 18,33\%.$$

Определение годовой экономии материалов

$$\mathcal{E}_m = \frac{(M_1 - M_2)}{W_{\text{экс}2} \cdot T_2}, \quad (5.17)$$

Сравнительная оценка БД-4М по отношению к БД-4 приведена в таблице 5.2 [34].

Таблица 5.2 – Сравнительная оценка БД-4М по отношению к БД-4

Наименование	Ед. изм	БД-4	БД-4М
1. Затраты труда	чел.ч/га	0,7	0,58
2. Заработная плата	Руб./га	83,78	70,47
3. Амортизационные отчисления	Руб./га	191,46	156,09
4. Отчисления ТОРХ	Руб./га	210,8	171,87
5. Расход горючего	Руб./га	306,25	306,25
6. Приведенные затраты	Руб./га	329,68	277,52
7. Годовой экономический эффект	Руб.	-	19195
8. Удельная материалоемкость	Руб./га	3	2,45

Расчет окупаемости новой машины БД-4М

$$T' = \frac{K_{\text{удн}}}{I_{\text{б}} - I_{\text{н}}}, \quad (5.18)$$

где T' – срок окупаемости, лет.

$K_{\text{удн}}$ – удельные капиталовложения в новую машину, руб.;

$I_{\text{б}}$ – эксплуатационные издержки по базовой машине, руб.;

$I_{\text{н}}$ – эксплуатационные издержки по новой машине, руб.

$T' = 2,19$ года.

Выводы по 5-ой главе

По результатам технико-экономических расчетов установлено, что годовой экономический эффект от внедрения четырехрядного ботводробителя БД-4М составляет 19195 руб. при годовой нагрузке машины 200 часов. Модернизированный ботводробитель по всем технико-экономическим показателям превосходит существующие ботводробители. Четырехрядный ботводробитель БД-4М можно эффективно использовать не только в КФХ, но и в крупных картофелеводческих хозяйствах АПК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании исследования научно-производственного опыта механического способа предуборочного удаления ботвы, установлено, что все рекомендуемые параметры ботвосрезающих рабочих органов ботводробителей в основном выбирают из конструктивных соображений не учитывая при этом величины длин резания ротором ботводробителей, расстановку режущих элементов по валу и некоторые другие их параметры, которые на наш взгляд обеспечивали бы копирование картофельных грядок и давали бы возможность максимального удаления ботвы и растительных остатков в междурядьях. Учет данных параметров ботводробителей позволит улучшить срез ботвы в междурядьях и повысить качество ее дробления и технико-эксплуатационные показатели картофелеуборочных машин и комбайнов.

2. На основе анализа конструкций роторных ботвоуборочных машин нами предложен новый вариант ротора с шарнирными ножами и переменным диаметром резания. Такая конструкция обеспечивает копирование картофельных грядок и дает возможность максимального удаления ботвы и растительных остатков.

3. Учитывая дифференциальные уравнения, связывающие динамику шарнирных режущих элементов ботводробителя с эффективным их функционированием были обоснованы рациональные параметры ротора ботводробителя с учетом устойчивой работы системы и качественного выполнения технологического процесса. Графоаналитическим методом с учетом профиля грядок и учитывая «охват» ножей поверхности грядки обоснованы следующие параметры ротора ботводробителя:

- переменная длина 4 ножей, которая равна: $L_1 = 375$ мм – эти ножи срезают ботву в междурядьях, $L_2 = 310$ мм, $L_3 = 220$ мм и $L_4 = 175$ мм - эти ножи срезают ботву на вершине грядки;

- масса ножей, равная 0,663, 0,826, 1,02 и 1,468 кг соответственно.

4. В результате проведенного лабораторного исследования процесса динамического среза картофельной ботвы модернизированным ботводробителем установлены: среднее усилие среза единичного стебля $P = 10,6$ кг при влажности 84,5 % и необходимая линейная скорость режущего элемента ботводробителя для осуществления бесподпорного среза $V_{CP} = 36 - 38$ м/с.

5. Сравнительное полевое испытание модернизированного ротора ботводробителя, параметры которого выбраны на основе разработанных теоретических предпосылок, показали преимущества его как по полноте уборки, так и по потребной мощности холостого и рабочего ходов:

- полнота уборки картофельной ботвы составляет у модернизированного 81,5%, а у серийного – 70,5%, что на 11% меньше;
- несрезанной ботвы оставлено – 18,5%, а у серийного – 29,5%, что на 11% больше;
- качество измельчения частиц до 2 см повысилось до 38,6% , а у серийного составило 30,2 %, что на 8,4% меньше.

Установлено, что работа машины при скоростях режущих элементов ротора ботводробителя в пределах 35-38 м/сек., является вполне удовлетворительной как по качеству измельчения, так и по чистоте уборки.

6. Годовой экономический эффект от внедрения четырехрядного ботводробителя БД-4М составляет 19195 руб. при годовой нагрузке машины 200 часов.

Рекомендации производству

Использование модернизированного ротора ботводробителя с переменным диаметром резания и шарнирными режущими элементами позволит повысить производительность картофелеуборочной техники, улучшить качество дробления ботвы и уборку ботвы в междурядьях.

Рекомендации по обоснованию основных геометрических и кинематических параметров модернизированного ротора ботводробителя могут

быть использованы в КБ, заводах-изготовителях сельскохозяйственной техники и хозяйствах АПК.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшей перспективе необходимо продолжить работу в направлении совершенствования качества измельчения ботвы с целью повышения производительности картофелеуборочной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов, Ю.Н. Анализ технико-эксплуатационных показателей и энергетических затрат ботвоуборочных машин роторного типа [Текст] / Ю.Н.Абрамов, М.Б.Угланов // Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии им. проф. П.А. Костычева, 2001. С.337-340.
2. Абрамов, Ю.Н. Динамика ротора с шарнирными ножами [Текст] /Ю.Н.Абрамов, М.Б.Угланов, О.П.Иванкина // «Механизация и электрификация». - 2012. - №1- С.10-11.
3. Абрамов, Ю.Н. Динамика шарнирно - режущего элемента ботвоуборочной машины в поле центробежных сил [Текст] / Ю.Н. Абрамов, М.Б. Угланов // Энергосберегающие технологии использования машинно-тракторного парка: Сборник научных трудов. – Рязань: РГСХА, 2004.- С. 67-72.
4. Абрамов, Ю.Н. Динамика шарнирного режущего элемента ботвоуборочной машины в поле центробежных сил [Текст] / Ю.Н.Абрамов // Сборник научных трудов . – Рязань: РГАТУ . - 2011. - С. 88-90.
5. Абрамов, Ю.Н. Исследование модернизированного ботводробителя БД-4м с шарнирными ножами [Электронный ресурс] / Ю.Н.Абрамов, М.Б.Угланов, А.Н.Бачурин, Д.Н.Бышов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2017. - №04(128). -С. 200-213.
6. Абрамов, Ю.Н. Исследование удельной работы среза и усилия среза единичного стебля картофельной ботвы [Текст] /Ю.Н. Абрамов, М.Б.Угланов , О.П.Иванкина // Сборник научных трудов «Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства». – Рязань: ГНУ ВНИМС Россельхозакадемии. - 2013. - С. 153-158.
7. Абрамов, Ю.Н. Лабораторно-полевые исследования модернизированной ботвоуборочной машины БД-4М [Электронный ресурс] /Ю.Н. Абрамов, М. Б. Угланов, О.П. Иванкина А.С. Попов, Д.Н. Бышов //

Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ. – 2012. - №78(04). - С. 403-412.

8. Абрамов, Ю.Н. Моделирование работы ротора ботводробительной машины с шарнирными ножами [Текст] / Ю.Н. Абрамов, Д.Н. Бышов, М.Б. Угланов, Ю.А. Юдаев // Сборник научных трудов по материалам национальной научно-практической конференции «Тенденции инженерно-технологического развития агропромышленного комплекса». – Рязань: РГАТУ, 2019. - С. 8-12.

9. Абрамов, Ю.Н. Обоснование основных параметров ротора ботводробителя [Текст] / Ю.Н. Абрамов, М.Б. Угланов // Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции. – Рязань: Рязанский СХИ им. проф. П.А. Костычева, 1996. - С.63-67.

10. Абрамов, Ю.Н. Общая теория колебательных движений [Текст] / Ю.Н. Абрамов // Юбилейный сборник научных трудов сотрудников и аспирантов РГСХА. – Рязань: РГСХА, 1999. - С. 140-142.

11. Абрамов, Ю.Н. Совершенствование состояния и тенденция развития механизации уборки картофельной ботвы [Текст] / Ю.Н. Абрамов, А.М. Лопатин, М.Б. Угланов // Сборник научных трудов аспирантов, соискателей и сотрудников Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А. Костычева «60-летию Рязанской области посвящается». – Рязань: РГСХА, 1997. - С.81-84.

12. Абрамов, Ю.Н. Экспериментальное исследование моментов инерции ножей модернизированного ботводробителя БД-4М [Текст] / Ю.Н. Абрамов, М.Б. Угланов, А.С. Попов, О.А. Онищенко // Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России». – Рязань: РГАТУ, 2018. – С. 9-13.

13. Абрамов, Ю.Н. Модернизированный ботводробитель БД-4М [Текст] / Ю.Н. Абрамов, М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, Н.М. Воронкин // Актуальные проблемы и их инновационные решения в АПК: Сборник научных

трудов. Посвящается 60-летию инженерного факультета. – Рязань: РГАТУ, 2011. - С. 101-103.

14. Абрамов, Ю.Н. Ротор ботвоуборочной машины с переменным диаметром резания [Текст] / Ю.Н. Абрамов, М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, А.С. Попов, Н.М. Воронкин, Е.В.Саликов, В.М. Соколин// Сборник научных работ студентов Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева ФГБОУ ВПО РГАТУ П.А. Костычева. – Рязань. 2011. - С. 232-235.

15. Абрамов, Ю.Н. Экспериментальное определение основных параметров ножей модернизированной ботвоудаляющей машины БД-4М [Текст] / Ю.Н. Абрамов, М. Б. Угланов, О.П. Иванкина, А.С. Попов, Т.С.Ткач //Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве». - Рязань, 2011. - С. 90-93.

16. Абрамов, Ю.Н. Экспериментальное определение усилия среза единичного стебля картофельной ботвы [Текст] / Ю.Н.Абрамов //Вестник РГАТУ. – Рязань, 2019. - №2(42). - С. 69-74.

17. Абдрахманов, Р.К. Анализ конструкций машин для механического удаления ботвы сельскохозяйственных культур [Текст] /Р.К. Абдрахманов, М.Н. Калимуллин //Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения. Вып.IX: Материалы международной научно-практической конференции. - Йошкар-Ола: Изд-во Мар.гос.ун-та, 2007. – С. 415-419.

18. Абдрахманов, Р.К. Анализ состояния производства картофеля в Республике Татарстан и пути повышения его эффективности [Текст] / Р.К.Абдрахманов // Актуальные вопросы механизации с/х производства. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 1997. - С.3-7.

19. Абдрахманов, Р.К. Кинематический анализ работы ротационного рабочего органа с вертикальной осью вращения [Текст] /Р.К. Абдрахманов,

М.Н. Калимуллин, А.В. Авдеев //Вестник Казанского ГАУ. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2007. - №2(6) – С. 111-113.

20. Абдрахманов, Р.К. Машины для механического удаления ботвы сельскохозяйственных культур и их классификация [Текст] / Р.К. Абдрахманов, М.Н. Калимуллин //Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Инновационное развитие агропромышленного комплекса и лесного хозяйства». – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2007. – с. 53-57.

21. Абдрахманов, Р.К. Результаты полевых исследований ротационного ботвоизмельчителя БИР-4 [Текст] /Р.К. Абдрахманов, М.Н. Калимуллин //Наука и практика: Проблемы, Идеи, Инновации: Материалы III межвузовской научно-практической конференции. – Чистополь: Изд-во ИНЭКА, 2008. – С. 99-103.

22. Абдрахманов, Р.К. Результаты производственных испытаний ротационного ботвоизмельчителя /Р.К. Абдрахманов, М.Н. Калимуллин //Научный потенциал – аграрному производству: Материалы всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: Изд-во РИО Ижевская ГСХА, 2008. – Т. III. – С. 188-192.

23. Агрообзор от 09 октября 2017 года, № 189.

24. Беркович, Д.М. Силы инерции в технике и их уравнивание [Текст] / Д.М.Беркович. – М.: Машгиз, 1963. - 111с.

25. Бoryчев, С. Н. Исследование потерь картофеля и путей их снижения в процессе уборки и доставки потребителю [Текст] / С.Н. Бoryчев и [др.] // Сб. научных трудов. Выпуск 3. Часть 2. - Рязань: РГСХА, 1999. - С. 34 - 35.

26. Бoryчев, С. Н. Некоторые физико-механические свойства культуры картофеля, определяющие работу ботвоудаляющих устройств. [Текст] / С.Н. Бoryчев // Энергоресурсосбережение в механизации сельского хозяйства. - Рязань: РГСХА, 2001. - С. 37 – 39.

27. Бoryчев, С.Н. Анализ способа ботвоудаления по размерам [Текст] / С.Н. Бoryчев // Современные энерго- и ресурсосберегающие системы

сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов. Выпуск 4. Часть 2. – Рязань : РГСХА, 2000 . - С. 40-42.

28. Бoryчев, С. Н. Некоторые физико-механические свойства культуры картофеля, определяющие работу ботвоудаляющих устройств [Текст] // Энергоресурсосбережение в механизации сельского хозяйства : Сборник научных трудов / С.Н. Бoryчев, Н.В. Бышов, И. А. Успенский. - Самара, 2000. - С. 124-126.

29. Бoryчев, С. Н. Обоснование параметров и разработка ботвоудаляющего рабочего органа картофелеуборочных машин [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / С.Н. Бoryчев. – Рязань, 2000. – 189 с.

30. Босой, Е.С. Скорость резания с/х культур [Текст]. – Сельхозмашиздат, 1953. - № 4. – 168 с.

31. Босой, Е.С. Режущие аппараты уборочных машин [Текст] / Е.С. Босой. – М.: Машиностроение, 1967. – 167 с.

32. Босой, Е.С. Сопротивление стеблей резанию [Текст] / Е.С. Босой, В.В. Сизый // Научные основы проектирования сельскохозяйственных машин. — Ростов н/Д. , 1977. - С.3-11.

33. Брусенцов, А.С. К вопросу совершенствования измельчителя соломы на зерноуборочном комбайне [Текст] / А.С. Брусенцов // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Материалы научной конференции. – Краснодар : Изд-во Кубанского ГАУ, 2016. – С. 196-197.

34. Бузаев, К.А. Совершенствование процесса сепарации почвы с разработкой колеблющегося элеватора картофелеуборочной машины [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.20.01/К.А.Бузаев. – Рязань, 2008. – 179 с.

35. Бузаев, К.А. Совершенствование процесса сепарации почвы с разработкой колеблющегося элеватора картофелеуборочной машины: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.20.01 [Текст]. - Рязань, 2008. – 20 с.

36. Бухтояров, Л.Д. Разработка конструкции и обоснование параметров инерционно-рубящего рабочего органа кустореза для удаления лесной поросли [Текст] : Дис...к.т.н.: 05.21.01 / Л.Д. Бухтояров. – Воронеж, 2004. – 142 с.
37. Бышов, Н. В. Обоснование ботвоприжимного битера удалителя [Текст] / Н.В. Бышов // Современные энергосберегающие технологии и системы сельскохозяйственного производства : Сборник научных трудов. Выпуск 2. Часть 2. – Рязань : РГСХА, 1998. - С. 80-85.
38. Бышов, Н. В. Принципы и методы расчета и проектирования рабочих органов картофелеуборочных комбайнов [Текст] / Н.В. Бышов, А.А. Сорокин : Монография. - Рязань, 1999. – 128 с.
39. Василенко, И.Ф. Экспериментальная теория режущих аппаратов жатвенных машин [Текст] /И.Ф.Василенко //Теория, конструкция и производство с/х машин. т. IV. – М. : Сельхозмашиздат, 1936. – 287 с.
40. Виноградов, В.И. Тросовый рабочий орган к косилке-измельчителю КИР-1,5 для удаления ботвы картофеля [Текст] /В.И. Виноградов, Н.П. Дорохов, В.Н. Маркусев. Информационный листок ЦНТИ. - Челябинск, 1984.
41. Волков, Г.И. Сельскохозяйственная техника в США [Текст] / Г.И.Волков. – М.: Машиностроительная литература, 1963. – 316 с.
42. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в трех томах / В.П. Горячкин, под ред. Н. Д. Лучинского. – 2-е изд. – М., Колос, 1968.
43. Глухих, Е.А. Исследование по механизации возделывания и уборки картофеля [Текст] / Е.А.Глухих. – М: Информагротех, 1999. – 52 с.
44. Гнеденко, Б.В. [Текст] Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. — М, 2005. - 448 с.
45. Гутьяр, Е. М. К теории резания стеблей [Текст] / Е.М. Гутьяр // Сельскохозяйственные машины. – 1931. – № 7. – С. 12–13.
46. Дорохов, А.П. Влияние полноты удаления ботвы на качественные и эксплуатационные показатели картофелеуборочного комбайна [Текст] / А.П. Дорохов, В.А. Моркусеев // Вопросы использования и совершенствования техники целинного земледелия. – Алма-Ата, 1985. – С. 134-138.

47. Дорошев, В.Н. Ботвоудаляющий аппарат транспортного типа [Текст] / В.Н. Дорошев // Тракторы и сельхозмашины». – 1962. - №3.
48. Дорошев, В.Н. К расчету приемной части ботвоудаляющего устройства транспортного типа [Текст] / В.Н. Дорошев, Г.Ф. Плешаков // Тракторы и сельхозмашины. – 1953. - № 3.
49. Зиновьев, В.В. Обоснование и выбор параметров и режима работы кусторезов с пассивным рабочим органом [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.20.01/В.В.Зиновьев. – Москва, 2000. – 154 с.
50. Ивакин, О.В. Обоснование технологического процесса и рабочих органов тросового ботводробителя [Текст] : дис...к.т.н.: 05.20.01. /О.В. Ивакин. – Новосибирск, 1996. – 142 с.
51. Измайлов, А.Ю. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства [Текст] /А.Ю. Измайлов, Н.Н. Колчин, Я.П. Лобачевский //Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2015. – №2. – С. 45-48.
52. Илларионов, А.Н. Механизированная уборка картофеля в Нечерноземной зоне [Текст] /А.Н. Илларионов, Л.М. Ямбаев. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 95 с.
53. Калимуллин, М.Н. Агрегат для уборки сахарной свеклы [Текст] / М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов // Сельский механизатор. - 2013. - № 10. - С.12.
54. Калимуллин, М.Н. Агрегат для удаления ботвы [Текст] / М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов // Сахарная свекла. - 2012. - №7. – С. 36-37.
55. Калимуллин, М.Н. Агрегат для удаления ботвы [Текст] М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов, Р.М. Сафин // Сельский механизатор. – Нива. - 2009. - №1. – С. 12.
56. Калимуллин, М.Н. Машины для удаления ботвы корнеклубнеплодов (конструкция, теория, расчет, эксплуатация) [Текст] /М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов. - Казань: Изд-во Казанского государственного аграрного университета, 2015. – 164 с.

57. Калимуллин, М.Н. Определение рабочей скорости движения ротационного ботвоизмельчителя [Текст] /М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов, С.М. Архипов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2010. - №12. – С. 26-28.

58. Калимуллин, М. Н. Совершенствование технологии возделывания картофеля [Текст] / М. Н. Калимуллин, Р. К. Абдрахманов, И. Г. Галиев // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 4. – С. 6-9.

59. Калимуллин, М. Н. Критерии определения диаметра гибкого рабочего элемента ротационного ботвоизмельчителя /[Текст] М. Н. Калимуллин, Р. К. Абдрахманов, В. В. Белов, Д. М. Исмагилов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 32. – С. 9-12.

60. Калимуллин, М.Н. Исследование влияния колебаний рабочих элементов на качество работы ботвоизмельчителя [Текст] / М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов // Техника и оборудование для села. - 2015. – № 5– С. 35 -37.

61. Калимуллин, М.Н. Разработка и обоснование параметров ротационного ботвоизмельчителя корнеклубнеплодов [Текст] /М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов, Р.М. Сафин // Перспективы развития агропромышленного комплекса России: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. - С. 57-63.

62. Калимуллин, М.Н. Результаты полевых исследований ротационного ботвоизмельчителя БИР-4 [Текст] / М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов //Материалы II Межвузовской студенческой научно- практической конференции. - Чистополь: ИНЭКА, 2007. – С. 66-68.

63. Калимуллин, М.Н. Результаты производственных испытаний ротационного ботвоизмельчителя БИР-4 [Текст] / М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов //Повышение эффективности растениеводства и животноводства – путь к рентабельному производству: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, посвященной памяти Р.Г. Гареева. – Казань: Фолиантъ, 2008. – С. 135-139.

64. Калимуллин, М.Н. Ротационный ботвоизмельчитель корнеклубнеплодов [Текст] /М.Н. Калимуллин //Высокотехнологичное импортоопережение при возделывании сельскохозяйственных культур, восстановлении сенокосов и пастбищ. Подготовка специалистов для проектирования, создания и внедрения импортоопережающей инновационной техники в сельскохозяйственное производство: Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2015. – С. 221 – 226.

65. Калимуллин, М.Н. Стенд для исследования процесса измельчения стеблей растений [Текст] /М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов, Р.Р. Багаутдинов // Вестник Казанского ГАУ. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2010. – №3 (17). – С. 93-95

66. Калимуллин, М.Н. Теоретическое обоснование режима измельчения ботвы корнеклубнеплодов гибким рабочим элементом [Текст] /М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов, С.М. Архипов. – М.: Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2009. - №1. – с. 10-16.

67. Камалетдинов, Р.Р. Результаты испытаний экспериментального образца картофелекопателя к тракторам малого класса тяги [Текст] / Р.Р. Камалетдинов А.А. Кутлубаев // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК : Материалы международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2018". – Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2018. - С. 85-88.

68. Камалетдинов, Р.Р. Научно-методологическое обоснование технологий и технических средств возделывания и уборки картофеля на основе объектно-ориентированного моделирования: автореф. дис...д.т.н. : 05.20.01 [Текст] / Р.Р. Камалетдинов. - Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2017 г. – 22 с.

69. Камалетдинов, Р.Р. Рекомендации по совершенствованию рабочих органов машин для уборки картофеля: 2-е издание [Текст] / Р.Р. Камалетдинов . – Уфа, 2014. - 44 с.

70. Камалетдинов, Р.Р. Фрикционный сепаратор корнеклубнеплодов [Текст] / Р.Р.Камалетдинов, И.Р.Сабирзянов / //Сельский механизатор. -2014. - № 8. - С. 4.
71. Карасев, А.И. Основы математической статистики [Текст] / А.И.Карасев. – М: Росвузиздат, 1962.
72. Карман, Т. Математические методы в инженерном деле [Текст] / Т.Карман , М.Био – М: Гостехиздат, 1948. – 64 с.
73. Камалетдинов, Р.Р. Особенности разрушения почвенных комков на просевающих сепараторах картофелеуборочных машин [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, З.С. Рахимов, Р.К. Абдрахманов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. -2018. - № 4(51). - С. 109-113.
74. Камалетдинов, Р.Р. Обоснование рациональных параметров сепаратора корнеклубнеплодов с вращающейся внутренней разделительной поверхностью в форме усеченного конуса [Текст] / Р.Р. Камалетдинов, Р.Ш. Аблеев. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2018. - № 4(48). - С. 128-135.
75. Камалетдинов, Р.Р. Энтропийные методы оценки качества и стабильности технологических операций сельскохозяйственных машин [Текст] / Камалетдинов Р.Р., Мударисов С.Г. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2018. - № 3(50). - С. 85-89.
76. Камалетдинов, Р.Р. Оптимизация процесса подкапывания клубненосного пласта и конструктивно-технологических параметров подкапывающих рабочих органов [Текст] / Р.Р.Камалетдинов, И.М. Фархутдинов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2018. - № 4(44). - С. 20-25.
77. Кирюхин, В.П. Эффективность скашивания ботвы картофеля перед уборкой [Текст] / В.П.Кирюхин // Плодоовощное хозяйство. – 1987. №5. – С. 37.

78. Колупаев, С.В. Повышение эффективности функционирования ботвоудаляющего органа картофелеуборочных машин [Текст] : дис...к.т.н.: 05.20.01 / С.В. Колупаев. – Рязань, 2010. – 183 с.

79. Комаров, Л.И. Экспериментально-теоретическое исследование измельчителя роторного типа с швыряльно-пневматическим устройством [Текст] : дисс. канд. техн. наук: 05.20.01 / Л.И. Комаров. – М., 1965. – 175 с.

80. Константинов, В.А. Определение критической скорости резания свободного стебля [Текст] / В.А.Константинов //Тракторы и сельхозмашины. - 1964 . - № 12.

81. Константинов, В.А. Исследование работы роторного измельчителя с шарнирными ножами при уборке кукурузы на силос и зеленый корм: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.20.01 [Текст] / В.А. Константинов; Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения. – Ростов на Дону : Типография им. Калинина, 1965. – 24 с.

82. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины [Текст] / М.Н.Летошнев. – М. : Сельхозгиз, 1955. – 766 с.

83. Лушников, М.В. Совершенствование технологического процесса и обоснование основных параметров ротационно-консольного кустореза для осветления лесных культур на нераскорчеванных вырубках [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.20.01/М.В.Лушников. – Саратов, 2001. – 200 с.

84. Максимов, Л. М. Отделение ботвы на корню [Текст] / Л. М. Максимов, В. Ф. Первушин // Сельский механизатор. - 2001. - № 10. - С. 23.

85. Максимов, П.Л. Ременно-инерционное ботвоудаляющее устройство и его параметры [Текст] / П. Л. Максимов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2003. - № 3. - С. 23-25.

86. Мартынов, В.М. Взаимодействие билы ботвоудаляющего устройства с корнеплодом [Текст] / В.М. Мартынов //Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2014. - № 2. - С. 86-90.

87. Мартынов, В.М. Взаимодействие компонентов вороха корнеплодов с витком шнека и вальцом шнекововальцового очистителя [Текст] / В.М.

Мартынов, Г.П.Юхин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2017. - № 4 (66). - С. 129-132.

88. Мартынов, В.М. Моделирование движения корнеплода в винтовом конвейере [Текст] / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. - 2017. - № 3 (43). - С. 63-71.

89. Мартынов, В.М. Механизированная заготовка и подготовка к скармливанию кормовой свёклы [Текст] / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, П.И. Огородников, В.А. Милюткин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2016. - № 6. - С. 98-100.

90. Мартынов, В.М. Экономическая целесообразность универсальной техники для уборки корнеплодов с многофункциональными рабочими органами [Текст] / В. М. Мартынов, Г. П. Юхин, А. А. Катков, А. М. Калимуллин // Известия Международной академии аграрного образования. - 2013. - № 17. - С. 75-78.

91. Мартынов, В.М. Энергетические показатели шнеково-вальцового очистителя корнеплодов [Текст] / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А. А., Катков, А.М. Калимуллин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2014. - № 5 (49). - С. 80-83.

92. Мартынов, В.М. Настраиваемые параметры рабочих органов для уборки корнеклубнеплодов [Текст] / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.С. Путрин, П.И. Огородников, Л.В. Межуева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2016. - № 5 (61). - С. 62-66.

93. Меновщиков, В.А. Прогнозирование амплитудно-частотных характеристик поведения решетного стана зерноочистительной машины в условиях стационарного движения [Текст] / В.А. Меновщиков, В.А. Ушанов, А.А. Вишняков // Международные научные исследования. – 2017. - № 3 (32). – С. 74-77.

94. Минин, П.С. К обоснованию конструктивных параметров режущего аппарата комбайновых жаток с поступательным движением режущих

элементов [Текст] / П.С. Минин // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. – 2013. – Том 64. – С. 43-48.

95. Нестерович, Э.О. Разработка и обоснование параметров рабочих органов картофелеуборочной машины [Текст] / Э.О. Нестерович: дис. канд. техн. наук. – Рязань, 2018. – 127 с.

96. Новиков, С.Е. Типовые нормы выработки и расхода топлива на сельскохозяйственные механизированные работы [Текст] / С.Е. Новиков. — М.: Информагробизнес, 1994. - 220 с.

97. Орсик, Л.С. Техничко-экономическое обоснование комплексов отечественных и зарубежных машин [Текст] / Л.С. Орсик, В.И. Драгайцев. – М.: 2003. – 111 с.

98. ОСТ 70.2.2-2002. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы энергетической оценки [Текст]. – М.: Минсельхоз России, 2003. – 24 с.

99. Пат. № 162404 Российская Федерация. МПК A01D 23/02./ A01D 33/06. Ботводробитель [Текст] / Ю.Н. Абрамов, Д.Н. Бышов, М.Б. Угланов, А.И. Рязанцев, М.В. Орешкина, О.П. Иванкина, Т.В. Липина заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ- 2015143586/13, заявл. 12.10.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 16, - 11 с.

100. Пат. № 186794 Российская Федерация. МПК A01D 23/02./ A01D 33/06. Ботводробитель [Текст] / Абрамов Ю.Н., Бышов Д.Н., Угланов М.Б., Липин В.Д. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ- 2018132752, заявл. 13.09.2018; опубл. 04.02.2019, Бюл. № 4, - 5 с.: ил.

101. Пат. № 160763 Российская Федерация. МПК A01D 23/02. Ботводробитель [Текст] / Ю.Н. Абрамов, Д.Н. Бышов, М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, Т.В. Липина. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ- 2015141238/13, заявл. 28.09.2015; опубл. 27.03.2016, Бюл. № 9, - 11 с.: ил.

102. Патент RU №2225688. Устройство для удаления ботвы [Текст] /В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.М. Калимуллин, А.А. Катков. – Оpubл.2004; Бюл. №8. – 6 с.

103. Пшеченков, К. А. Подготовка почвы и удобрение картофеля [Текст] / К. А. Пшеченков, А. В. Смирнов // Картофель и овощи . - 2015. - №1. – С. 31-32.
104. Пшеченков, К.А. Картофель на тяжелых суглинках [Текст] / К.А. Пшеченков, А.В. Смирнов // Картофель и овощи. – 2016. - №1. – С. 24-25.
105. Пшеченков, К.А. Оптимизация технологии подготовки почвы и способа внесения минеральных удобрений под картофель [Текст] / К.А. Пшеченков, А.В. Смирнов // Достижения науки и техники в АПК. – 2016. - №3. – С. 30-32.
106. Пшеченков, К.А. Картофель: убрать эффективно [Текст] / К.А. Пшеченков, С.В. Мальцев // Картофель и овощи. – 2016. - №9. – С. 24-26.
107. Пшеченков, К.А. Технология подготовки высококачественного продовольственного картофеля [Текст] / К.А. Пшеченков, С.В. Мальцев // Картофель и овощи. – 2017. - №1. – С. 28-30.
108. Пшеченков, К.А. Уборка картофеля на тяжелых почвах [Текст] / К.А. Пшеченков, В.С. Чугунов, И.И. Шостаковский // Техника в сельском хозяйстве. - 1977. - № 9. - С. 42-44.
109. Раев, Б.Г. Исследование процесса резания стеблей без противорежущей части [Текст] / Б.Г.Раев // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. - № 11. – С.
110. Резник, Н. Е. Аналитическое исследование с помощью электронно-вычислительной машины процесса швыряния измельченной массы ножевым барабаном силосоуборочного комбайна [Текст] / Н.Е.Резник // Тракторы и сельхозмашины. - 1964. - № 3.
111. Резник, Н.Е. К теории барабанного измельчающе – швыряющего аппарата силосоуборочного комбайна [Текст] / Н.Е.Резник // Тракторы и сельхозмашины. – 1964. - № 9.
112. Резник, Н.Е. Роторные силосоуборочные машины. – [Текст] / Н.Е.Резник // Тракторы и сельхозмашины. – 1962. - № 5.

113. Салимзянов, М.З. Обоснование конструктивно-геометрических параметров и режимов работы рабочего органа для измельчения ботвы картофеля [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 - Ижевск, 2005. – 191 с.

114. Современное состояние механизации сельского хозяйства в США [Текст] : (По материалам отчета советской делегации) / А. В. Басов, П. Е. Дорошенко, С. А. Мельник и др. ; Гос. науч.-техн. ком-т Совета Министров СССР. - Москва : ЦИНТИМаш, Отд. тракт. и с.-х. машиностроения, 1959. - 285 с.

115. Старовойтов, В. И. Переработка картофеля – стратегический путь развития картофелеводства России [Текст] / В.И. Старовойтов. – М. : ГНУ ВНИИКХ ИМ. А.Г. Лорха, 2006. – 153 с.

116. Старовойтов, В.И. Текстура и структура клубней топинамбура [Текст] / В.И. Старовойтов, А. А. Манохина // АПК России . - 2017. - Том 24. - № 2. - С. 338-343.

117. Старовойтов, В.И. Агрометодика выращивания топинамбура [Текст] / В. И. Старовойтов, О. А., Старовойтова, А. А. Манохина // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина. - 2017. - Вып. №1 (77). - С. 7-13.

118. Старовойтов, В.И. Полевые исследования коллекции сортообразцов топинамбура на дерново-подзолистой супесчаной почве ЦФО [Текст] / В.И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина // АПК России. - 2017. Том 24. - № 2. - С. 344-351.

119. Старовойтов, В. И. Обоснование процессов и средств механизации производства картофеля в системе "поле-потребитель": автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.20.01 [Текст]. - Москва, 1995. - 37 с.

120. Старовойтова, О. А. Возделывание картофеля с использованием водных абсорбентов [Текст] / О. А. Старовойтова, В.И. Старовойтов, А. А. Манохина // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина. - 2016. - Вып. №2 (72). - С. 28-34.

121. Старовойтов, В. И. Механизированная уборка топинамбура [Текст] / В. И. Старовойтов, О. А. Старовойтова, А. А. Манохина // Аграрная наука -

сельскому хозяйству : Сборник материалов XIII международной научно-практической конференции : в 2 кн. – Барнаул : ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», 2018. - С. 197-198.

122. Старовойтов, В. И. Технология возделывания картофеля и топинамбура [Текст] / О. А. Старовойтова, В. И. Старовойтов, А. А. Манохина // Техническое обеспечение технологий производства сельскохозяйственной продукции : Сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции / под общей редакцией С. Ф. Сухановой. – Лесниково : Курганская ГСХА, 2018. – С. 128-132.

123. Турбин, Б. И. Теоретическая механика [Текст] / Б. И. Турбин. - Москва : Сельхозгиз, 1959. - 375 с.

124. Угланов, М. Б. Ботвоуборочная машина УБД-3 [Текст] / М. Б. Угланов // Картофель и овощи. – 1965. - №8.

125. Угланов, М. Б. Разработка комплекса машин для уборки картофеля на основе совершенствования рабочих органов и рационального их сочетания [Текст] : диссертация ... доктора технических наук : 05.20.01 / Лен. гос. аграрн. ун-т. - Рязань, 1989. - 476 с.

126. Угланов, М.Б., Иванкина О.П., Абрамов Ю.Н. Динамика ротора с шарнирными ножами [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, Ю.Н. Абрамов // Механизация и электрификация. - 2012. - №1 - С. 10-11.

127. Угланов, М.Б. Модернизированный ботводробитель БД-4М [Текст] / М. Б. Угланов, О.П. Иванкина, Ю.Н. Абрамов, Н.М. Воронкин, Е.В. Саликов // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и их инновационные решения в АПК». – Рязань : РГАТУ, 2011. - С. 101-103.

128. Угланов, М.Б. Ротор ботвоуборочной машины с переменным диаметром резания [Текст] / М.Б. Угланов, О.П. Иванкина, А.С. Попов, Ю.Н. Абрамов, Н.М. Воронкин, Е. В. Саликов, В. М. Соколин // Сборник научных работ студентов РГАТУ им. П.А. Костычева : Материалы научно-практической конференции 2011 г. 1 том. – Рязань : РГАТУ, 2011. - С. 232-235.

129. Угланов, М. Б. Лабораторно-полевые исследования модернизированной ботвоуборочной машины БД-4М [Электронный ресурс] / М. Б. Угланов, О. П. Иванкина, А. С. Попов, Д. Н. Бышов, Ю.Н. Абрамов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 78(04). - С. 403 - 412.

130. Угланов, М.Б. Инновационные технологии и средства механизации в растениеводстве и животноводстве [Текст] / М. Б. Угланов, О. П. Иванкина, А. С. Попов, Т. С. Ткач, Ю. Н. Абрамов // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Владимира Федоровича Некрашевича. – Рязань : РГАТУ, 2011. - С. 90-93.

131. Угланов, М.Б. Исследование модернизированного ботводробителя БД-4М с шарнирными ножами [Текст] / М.Б. Угланов, А.Н. Бачурин, Д.Н. Бышов, Ю.Н. Абрамов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 128. - С. 200-213.

132. Успенский, И. А. Основы совершенствования технологического процесса и снижения энергозатрат картофелеуборочных машин [Текст] : диссертация ... доктора технических наук : 05.20.01. - Москва, 1997. - 396 с.

133. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов [Текст] : учебник для вузов / В.И. Феодосьев. – М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2003. – 592 с.

134. Хомидов, Р. Д. Настраиваемые параметры рабочего органа для уборки корнеклубнеплодов на базе мотоблока [Текст] / Р. Д. Хомидов, Р. Р. Камалетдинов // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК : Материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2017». – Уфа : Башкирский государственный аграрный университет, 2017. - С. 294-297.

135. Чалаганидзе, Ш. И. Применение теории удара к процессу резания растительных материалов [Текст] / Ш. И. Чалаганидзе, Р. М. Махароблидзе, З.

К. Махароблидзе // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – №5. – С.33-34.

136. Чвала, С.В. Совершенствование технологии по уходу за товарной плантацией малины и разработка режущего аппарата для ограничения высоты стеблей [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.20.01 - Рязань, 2008. – 215 с.

137. Чесноков, Р.А. Технология и элеватор картофелеуборочной машины с интенсификатором сепарации почвы [Текст]: – дис. канд. техн. наук: 05.20.01 – Рязань, 2005. – 155 с.

138. Чхетиани, А.А. Анализ современных технологий возделывания картофеля и конструкций картофелеуборочных машин [Текст] / А.А. Чхетиани // Технические науки – от теории к практике. – 2011. - № 4. – С. 115-119.

139. Исмагилов, Д.М. Экспериментальные исследования двухрядного измельчителя ботвы [Текст] / Д. М. Исмагилов, М. Н. Калимуллин, Р. К. Абдрахманов, И. И. Валиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. - 2019. - Т. 14. - № 2 (53). - С. 100-105.

140. Abschlussbericht kartoffelverladeroder. "Gigant". 1970 г.165. Agrimente—2006.

141. Atlantic Canada potato Guide. Charlottetown, P.E.I, 1982. - №700. – 37 p.

142. Bulgakov, V. Theoretical investigations of leaf stripper heads of roots /V. Bulgakov, N. Boris, A. Boris //Agricultural Engineering, Research Papers, 2013, Vol. 45, No 2

143. Burger, H. -G. Das sind die 50 Besten // DLG-Mitteilungen, 11\2003., Burger H.-G. Die 50 besten Unternehmen. DLG-Mitteilungen, 11\2005.

144. Carling, D. E. Grouping in Rhizoctonia solani by hyphal anastomosis reaction. In: Sneh, B., Jabaji-Harc,S., Neatc, S., Dijst,G. (Eds.) Rhizoctonia species: Taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control. Second International Symposium on Rhizoctonia, Wageningen, Netherlands 1995. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the netherlands, 1995, 529...536.

145. Cooke, D. A., Scott, R. K. (Eds.) The potato Crop. Chapman and Hall. Cambridge, 1993. 545 pp.
146. Elliott, M. C, Weston, G. D. Biology and Physiology of potato. In: Cooke, D. A., Scott, R. A. (Eds.) The Sugar Beet Crop. Chapman & Hall Cambridge, 1993, 37...66.
147. Gabitov I.I., Mudarisov S.G., Gafurov I.D., Ableeva A.M., Negovora A.V., Davletshin M.M., Rakhimov Z.S., Khamaletdinov R.R., Martynov V.M., Yukhin G.P. Evaluation of the efficiency of mechanized technological processes of agricultural production. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. № S 10. C. 8338-8345.
148. Gray Gleason L., Ellis Willard R. Individual separation hyharvesting and hanlling procedures. Trans ASAE, 1972, 15, 3.
149. Gruber, W. Trends bei der Technik die Zuckerrubenernte //Landtechnik. – 2001. – Jg. 56, №6. – S. 380 – 381.
150. Haulm destruction how, when and why? – Potato Quarterly, 1980. – №6. – P. 2.
151. Kalimullin, M.N. Rotary haulm chopper parameters development and substantiation for root and tuber crops /M.N. Kalimullin, R.K. Abdrakhmanov, S.M. Arkhipov //International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 10, Number 10 (2015) pp. 25691-25697.
152. Larsson, K. Destroying potato haulm by flaming paper on the International comference on agricultural Engineering /K. Larsson. – Berlin, 1990.– 24 p.
153. McRandal D.M. McNulty. Impact cutting behavior of forage crops. 1. Match. Models and laboratory test //J. Agric. Eng Res. – 1978, vol. 3. №2.
154. Merkes, R. Zuckerrube. Ernte und Lagerung. In: Keller, E.R., Hanus, H. (Hrsg.) Handbuch des Pflanzenbaus. Bd. 3: Knollen – und Wurzelfruchte, Korner – und Futterleguminosen. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 1999, 412...416.

155. Misener, G.C. Effect of vine-killing methods on moisture loss from potato tubers. /G.C. Misener. – Canadian agricultural Engineering, 1982. – V224. – №222. – P. 109-110.
156. Patentschrift 210847. DDR. B 07./ B. 9./ 02. Kombination einer kraut und Steinentferrungsvorrichtung mittels Luft. / Ertelt G., Gall H., Buck P., Kraubidis A. Bekanntmachung, 27.06.84.
157. Petersen T., Hampf H., Einsatz einer pneumatischen Trennanlage in der Annahmestecke des Krofellagerhaus Broders torf. Agrartechnik. Berlin, 1984, Bd 34. Jg. 7,-S. 314-316.
158. Seed potato production in the Netherlands. – Agri-Holland, 1979. - №5. 305– p.1-5.
159. Sousec, P. Grundsätze für die Konstruktion von Landmaschinen/P. Sousec, H. Regge. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1979. – 223 s.
160. Traktoren /Blumenthal. – Berlin: VEB Verlag Technik, 1978. – 376 s.
161. Winner, C. Zuckerrubenanbau. DLG-Verlag Frankfurt /Main, 1981, 308s.
162. Zaag, D.E. Potatoes and their cultivation in the Netherlands. 1980. –75p.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 160763

БОТВОДРОБИТЕЛЬ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

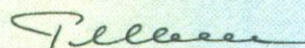
Заявка № 2015141238

Приоритет полезной модели 28 сентября 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 04 марта 2016 г.

Срок действия патента истекает 28 сентября 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

160 763 (13) U1

(51) МПК

A01D 23/02 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015141238/13, 28.09.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.09.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.09.2015

(45) Опубликовано: 27.03.2016 Бюл. № 9

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО
РГАТУ, отдел патентной и изобретательской
работе, Липину В.Д.

(72) Автор(ы):

Бышов Дмитрий Николаевич (RU),
Угланов Михаил Борисович (RU),
Абрамов Юрий Николаевич (RU),
Иванкина Ольга Петровна (RU),
Липина Татьяна Владимировна (RU)

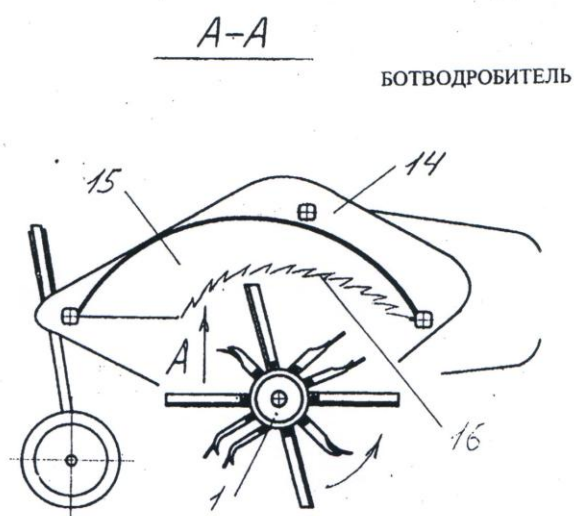
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Рязанский государственный
агротехнологический университет имени
П.А. Костычева" (RU)

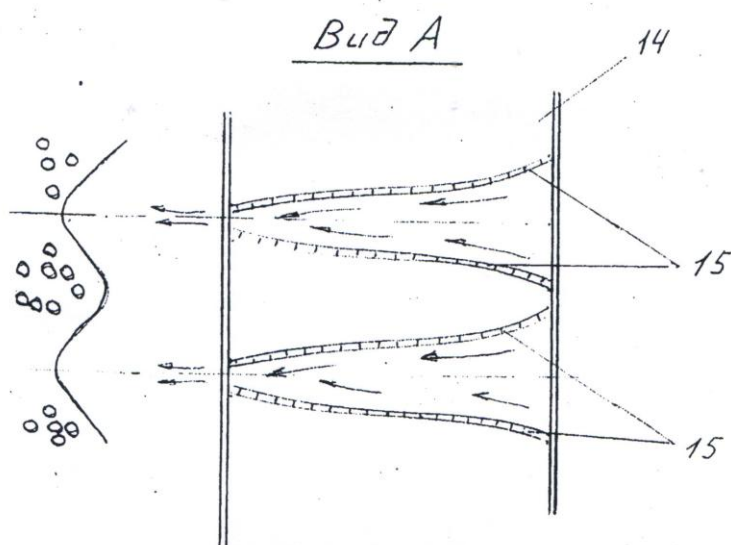
(54) БОТВОДРОБИТЕЛЬ

(57) Формула полезной модели

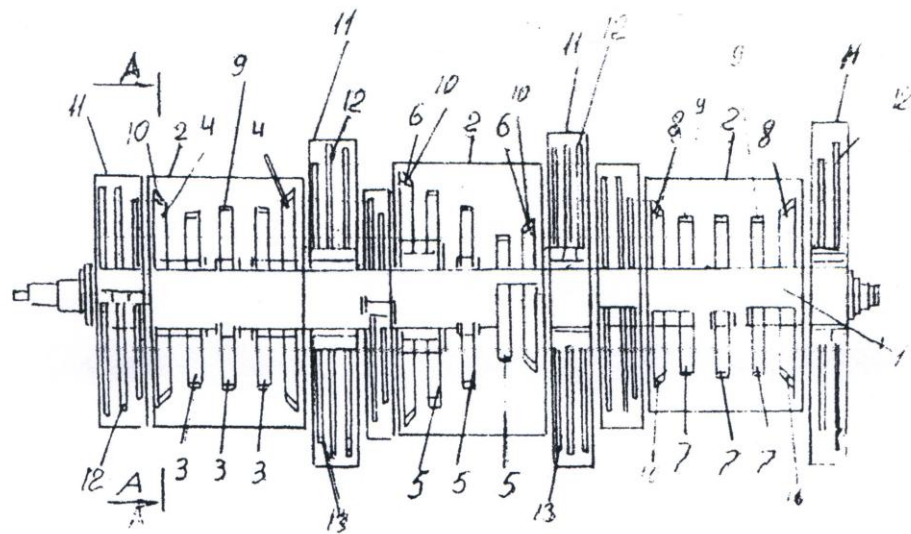
Ботводробитель, содержащий смонтированный под защитным кожухом, снабжённым против каждой секции центральных ножей V-образными делителями, горизонтальный вал, на котором закреплены в чередующемся порядке секции рабочих органов различной длины для очистки гребней и борозд от картофельной ботвы и другой растительности, выполненные в виде шарнирно прикреплённых к кронштейнам ножей с режущими кромками, каждый нож для очистки борозд расположен в плоскости, поперечной оси вала, режущие кромки ножей, расположенных над боковыми поверхностями гребней, размещены наклонно к вертикали под одинаковым углом в противоположные стороны, а режущие кромки центральных ножей расположены параллельно оси вала, отличающийся тем, что по внутренней поверхности защитного кожуха над каждой секцией ножей вала-ротора по винтовой линии жёстко закреплены V-образные направляющие пластины с нижней частью - рабочей кромкой, изготовленной по логарифмической спирали и пилообразными зубцами.



Фиг. 2.



Фиг. 3.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 162404

БОТВОДРОБИТЕЛЬ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015143586

Приоритет полезной модели 12 октября 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 19 мая 2016 г.

Срок действия патента истекает 12 октября 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **162 404** (13) **U1**

(51) МПК

A01D 23/02 (2006.01)

A01D 33/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015143586/13, 12.10.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.10.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.10.2015

(45) Опубликовано: 10.06.2016 Бюл. № 16

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО
РГАТУ, отдел патентной и изобретательской
работы, Липину В.Д.

(72) Автор(ы):

Бышов Дмитрий Николаевич (RU),
Угланов Михаил Борисович (RU),
Абрамов Юрий Николаевич (RU),
Иванкина Ольга Петровна (RU),
Рязанцев Анатолий Иванович (RU),
Орешкина Мария Владимировна (RU),
Липина Татьяна Владимировна (RU)

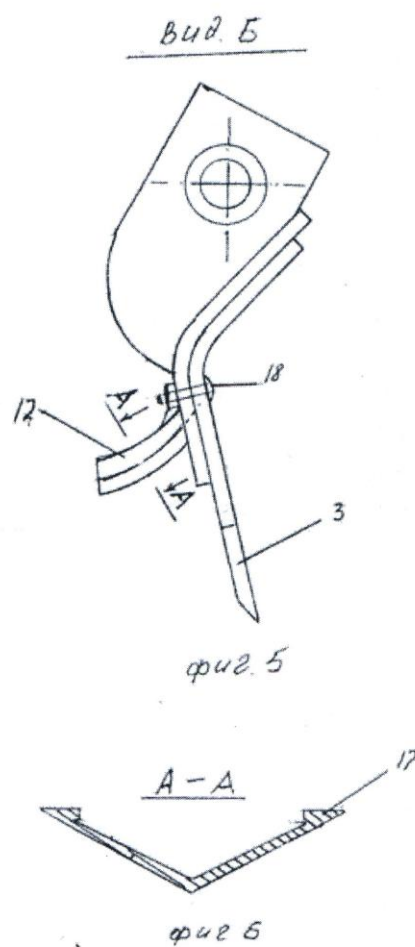
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Рязанский государственный
агротехнологический университет имени
П.А. Костычева" (RU)(54) **БОТВОДРОБИТЕЛЬ**

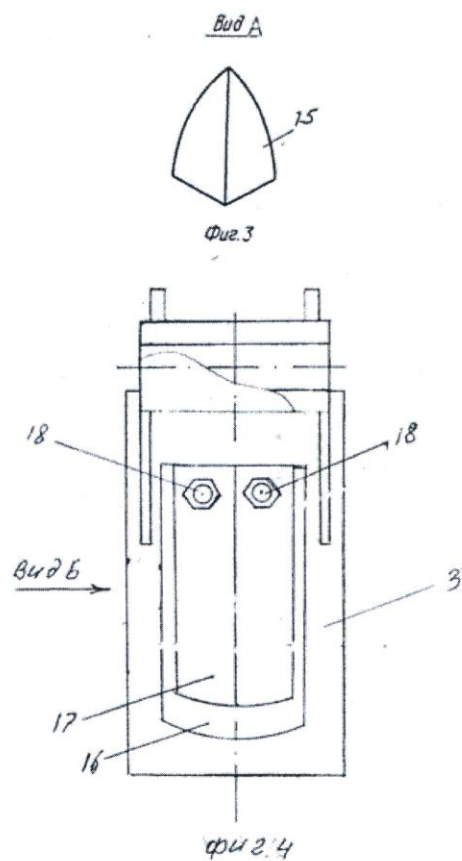
(57) Формула полезной модели

Ботводробитель, содержащий смонтированный под защитным кожухом, снабженным против каждой секции центральных ножей V-образными делителями, горизонтальный вал, на котором закреплены в чередующемся порядке секции рабочих органов различной длины для очистки гребней и борозд от картофельной ботвы и сорняков, выполненные в виде шарнирно прикрепленных к кронштейнам ножей с режущими кромками, каждый нож для очистки борозд расположен в плоскости, поперечной оси вала, режущие кромки ножей, расположенных над боковыми поверхностями гребней, размещены наклонно к вертикали под одинаковым углом в противоположные стороны, а режущие кромки центральных ножей расположены параллельно оси вала, ножи выполнены со сквозными вырезами, с тыльной стороны которых закреплены пластины, выполненные по логарифмической кривой, отличающийся тем, что пластины изготовлены с λ -образным сечением.

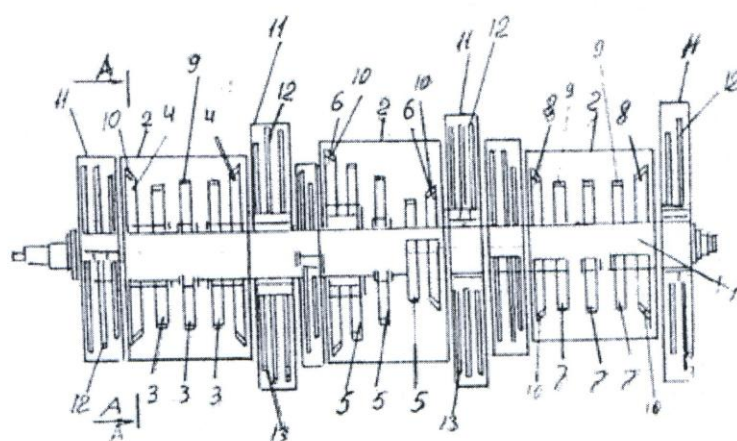
БОТВОДРОБИТЕЛЪ



БОТВОПРОБИТЕЛЕ

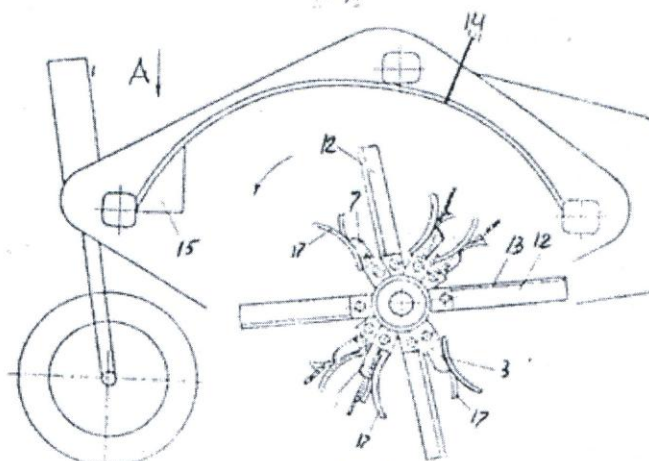


БОТВОДРОБИТЕЛЬ



Фиг. 1

A-A



Фиг. 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 186794

БОТВОДРОБИТЕЛЬ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (RU)*

Авторы: *Абрамов Юрий Николаевич (RU), Угланов Михаил Борисович (RU), Бышов Дмитрий Николаевич (RU), Липин Владимир Дмитриевич (RU)*

Заявка № 2018132752

Приоритет полезной модели 13 сентября 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 04 февраля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 13 сентября 2028 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

186 794⁽¹³⁾ U1(51) МПК
A01D 23/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01D 23/02 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018132752, 13.09.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.09.2018Дата регистрации:
04.02.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.09.2018

(45) Опубликовано: 04.02.2019 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, кафедра
технических систем в АПК ФГБОУ ВО
РГАТУ, Липину В.Д.

(72) Автор(ы):

Абрамов Юрий Николаевич (RU),
Угланов Михаил Борисович (RU),
Бышов Дмитрий Николаевич (RU),
Липин Владимир Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Рязанский государственный
агротехнологический университет имени
П.А. Костычева" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2410863 C2, 10.02.2011. RU
2048728 C1, 27.11.1995. US 3423914 A1,
28.01.1969. JP 2007252204 A, 04.10.2007.

(54) БОТВОДРОБИТЕЛЬ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к сельскохозяйственной технике и может быть использована для уборки с измельчением ботвы картофеля и других сельскохозяйственных овощных культур.

Ботводробитель содержит установленный на раме ротор с кронштейнами, размещенными со смещением по четырем винтовым линиям вдоль вала ротора, со съемными режущими элементами. Кронштейны каждой винтовой линии расположены симметрично относительно вертикальной оси симметрии роторного вала. Роторный вал ботводробителя снабжен балансировочными дисками, выполненными со

сквозными отверстиями, установленными на роторном валу жестко. Балансировочные диски ротора имеют один ряд концентрически расположенных отверстий, каждое из которых выполнено в виде сегмента диска, усеченного двумя концентрическими окружностями. К балансировочным дискам болтовым соединением закреплены балансиры с возможностью изменения положения по концентрически расположенным отверстиям.

Заявляемая полезная модель позволяет уменьшить вибрацию роторного вала и предотвратить износ и поломку подшипников.

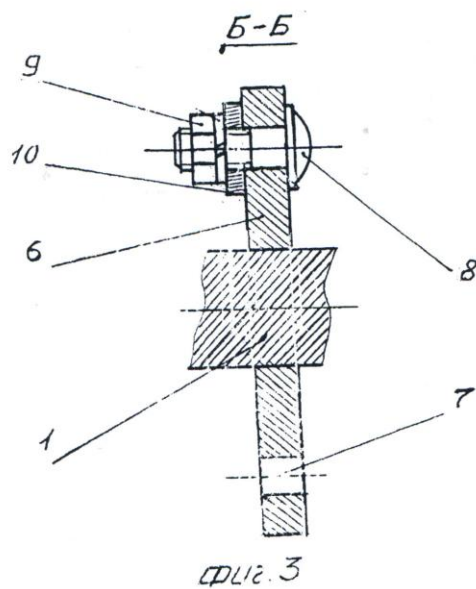
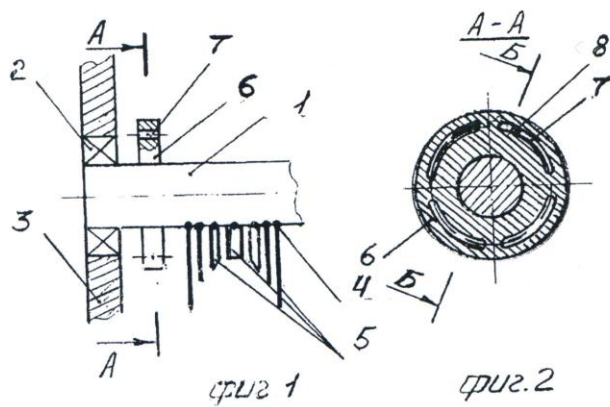
RU 186794 U1

RU 186794 U1

RU 186 794 U1

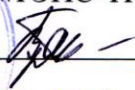
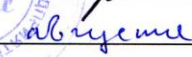
1

БОТВОДРОБИТЕЛЬ



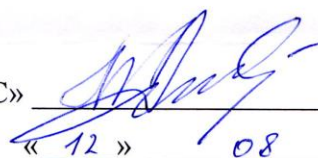
«Утверждаю»

директор ЧУП «ТЭНС-ТРАНС» г. Минск

 В.П. Буяшов« 14 »  2012 г.**Акт передачи результатов**

Результаты диссертационной работы на тему: «Технология и разработка роторного рабочего органа ботвоуборочной машины с шарнирными режущими элементами», выполненные Абрамовым Юрием Николаевичем под руководством доктора технических наук, профессора Угланова Михаила Борисовича переданы в ЧУП «ТЭНС-ТРАНС» для внедрения в серийное производство.

Зам. директора ЧУП «ТЭНС-ТРАНС»



М.Ф. Акулич

« 12 »  2012 г.

продолжение приложения Б



«Прогресс» утверждаю»

Председатель СПК «Прогресс»

Е.Д.Лепехина

августа 20 11 г.

**Акт
внедрения в сельскохозяйственное производство
модернизированного ботводробителя БД-4М**

Мы, нижеподписавшиеся, представители СПК «Прогресс» Киреевского района Тульской области: главный инженер Клочков Ю.А., главный агроном Абакумов Н.И., представители ФГБОУ ВПО РГАТУ им. П.А.Костычева: д.т.н., профессор кафедры «СХД и СМ» Угланов М.Б., к.т.н., доцент Иванкина О.П., соискатель Абрамов Ю.Н., составили настоящий Акт в том, что в сезон уборки картофельной ботвы на полях хозяйства прошел испытания модернизированный ботводробитель БД-4М с переменным диаметром резания.

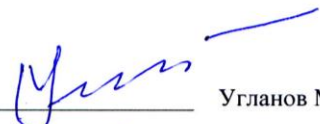
Полевые испытания были произведены на поле СПК «Прогресс» в сравнении с серийным ботводробителем. За период испытаний произведена уборка картофельной ботвы на площади 3 га. Во время проведения полевых испытаний проведена агротехническая и эксплуатационная оценка работы. Анализ результатов показал, что полнота уборки картофельной ботвы составляет у модернизированного ботводробителя 82%, а у серийного – 70%, что на 12% меньше; не срезанной оставлено 18%, у серийного аналогичный показатель составил 30%, что на 12% больше; качество измельчения частиц до 2 см повысилось на 8,5% по сравнению с серийным ботводробителем.

Модернизированный ботводробитель БД-4М с переменным диаметром резания по основным показателям, таким как: полнота уборки картофельной ботвы, удаление ботвы из междурядий, качество измельчения ботвы, превосходит серийный ботводробитель с постоянным диаметром резания.

Считаем необходимым модернизированный ботводробитель БД-4М внедрить в сельскохозяйственное производство.

**Представители ФГБОУ ВПО РГАТУ
им. П.А.Костычева**

д.т.н., профессор кафедры
«СХД и СМ»

 Угланов М.Б.

к.т.н., доцент

 Иванкина О.П.

соискатель

 Абрамов Ю.Н.

Представители СПК «Прогресс»

Главный инженер

 Клочков Ю.А.

Главный агроном

 Абакумов Н.И.

«Утверждаю»
и.о. директора ООО «Авангард»,
Рязанского района Рязанской области
Красников И.Г.
« 20 » 08 2013 г.
документов



Акт

внедрения в сельскохозяйственное производство модернизированного ботводробителя БД-4М

Мы, нижеподписавшиеся, представители ООО «Авангард» Рязанского района Рязанской области: главный инженер Липатов Н.В., бригадир тракторной бригады Новиков В.И. и представители ФГОУ ВПО РГАТУ им. П.А. Костычева: д.т.н., профессор кафедры «СХД и СМ» Угланов М.Б., к.т.н., доцент Иванкина О.П., соискатель Абрамов Ю.Н. составили настоящий акт в том, что в сезон уборки картофельной ботвы 2011 г. на полях хозяйства прошел испытания модернизированный ботводробитель БД-4М с переменным диаметром резания.

За период было убрано 16,2 га картофельной ботвы. Во время проведения полевых испытаний проведена агротехнологическая и эксплуатационная оценка работы.

В настоящее время в ООО «Авангард» для уборки картофельной ботвы из отечественных машин применяются ботводробители КИР-1,5 и БД-4, которые имеют ротор с постоянным диаметром резания. В процессе эксплуатации установлено, что эти машины обладают рядом недостатков, один из которых невозможность срезания ботвы и растительных остатков в междурядьях картофельных грядок. В результате при уборке картофеля копателями и картофелеуборочными комбайнами забиваются основные рабочие органы, что приводит к снижению производительности технологического процесса.

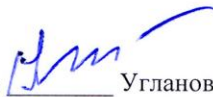
Модернизированный ботводробитель БД-4М с переменным диаметром резания устраняет отмеченные недостатки. Установлено, что полнота уборки картофельной ботвы составляет у модернизированного ботводробителя 81,5%, а у серийного – 70,5%, что на 11% меньше; несрезанной ботвы оставлено – 18,5%, а у серийного – 29,5%, что на 11% больше; качество измельчения частиц до 2 см повысилось до 38,6%, а у серийного составило 30,2 %, что на 8,4% меньше.

окончание приложения Б

Считаем необходимым модернизированный ботводробитель БД-4М внедрить в сельскохозяйственное производство ООО «Авангард».

**Представители ФГОУ ВПО РГАТУ
им. П.А. Костычева:**

д.т.н., профессор
кафедры «СХМ и СМ»



Угланов М.Б.

к.т.н., доцент



Иванкина О.П.

соискатель



Абрамов Ю.Н.

Представители ООО «Авангард»:

гл. инженер



Липатов Н.В.

бригадир



Новиков В.И.