

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I

На правах рукописи



КАРПОВ Владислав Викторович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ
КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ К СКАРМЛИВАНИЮ**

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Гулевский В.А.

Воронеж – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ К СКАРМЛИВАНИЮ.....	12
1.1 Аналитический обзор технологий послеуборочной механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов.....	12
1.2 Анализ, классификация, конструкторские особенности и качественные показатели работы устройств и рабочих органов для механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов.....	21
1.3 Анализ теоретических и экспериментальных исследований очистителей кормовых корнеплодов.....	35
Выводы.....	47
2 АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ	49
2.1 Перемещение единичного корнеплода по наружной поверхности наклонного вращающегося гофрощеточного барабана.....	50
2.2 Перемещение массы корнеплодов в рабочем объеме очистителя и определение его производительности	59
2.3 Определение основных конструктивных параметров рабочих органов очистителя.....	64
2.4 Определение мощности привода гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.....	70
Выводы.....	74
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА.....	76

3.1	Программа экспериментальных исследований.....	76
3.2	Объекты исследований и показатели рабочего процесса гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.....	76
3.3	Методика проведения экспериментальных исследований	79
3.3.1	Методика проведения опытов на экспериментальной установке.....	83
3.3.2	Методика определения механико-технологических свойств кормовых корнеплодов с примесями.....	91
3.4	Статистическая обработка экспериментальных данных и оценка точности результатов.....	95
3.5	Результаты экспериментальных исследований процесса механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов.....	102
3.5.1	Исследование размерно-массовых характеристик и механико-технологических свойств кормовых корнеплодов	102
3.5.2	Влияние скорости скольжения гофрощеточной полоски, ее длины и радиальной деформации на силу нормального давления.....	107
	Выводы.....	119
4	ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	121
4.1	Результаты исследования процесса механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов методом планирования многофакторного эксперимента.....	121
4.1.1	Описание области оптимума.....	127
4.1.2	Нахождение условного экстремума (решение компромиссной задачи).....	130
4.2	Анализ результатов экспериментальных исследований гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.....	133
4.3	Исследование влияния загрязненности и влажности примесей на	138

эффективность очистки кормовых корнеплодов.....	
4.4 Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований.....	140
4.5 Методика расчета параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.....	145
Выводы.....	151
5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ.....	153
5.1 Расчет технико-экономической эффективности применения гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов	153
5.2 Рекомендации по использованию гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов и внедрению его в производство.....	162
Выводы.....	168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	169
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	171
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	192

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время одной из наиболее актуальных задач является обеспечение населения продуктами животноводства, успешное решение которой неразрывно связано с созданием прочной кормовой базы. Обеспечение поголовья полноценными кормами, сбалансированными по питательности в соответствии с запланированной потребностью – одно из решающих условий повышения эффективности животноводства. В свою очередь, укрепление и развитие кормовой базы и животноводства в целом за счет кормовых корнеклубнеплодов, в значительной степени зависит от усовершенствования технологии их выращивания и последующих процессов уборки, хранения и подготовки их к скармливанию [43, 113].

Кормовые корнеклубнеплоды занимают большой удельный вес в кормовых рационах сельскохозяйственных животных. Одно из первых мест по питательности среди кормовых корнеклубнеплодов принадлежит кормовой свекле: по питательности 10 кг корнеплодов кормовой свеклы соответствуют 1,2...1,5 кг кормовых единиц и содержат 90...110 г перевариваемого протеина. Они хорошо поедаются животными и, как показывают исследования [43, 120, 176], включение корнеплодов в рацион коров способствует повышению молочной продуктивности на 6,5...21,4 %, улучшению перевариваемости и усвояемости питательных веществ в потребляемых кормах, снижению удельных затрат кормов на 4...7 %. Наибольшие площади, занятые сахарной и кормовой свеклой, находятся в России, Украине, Китае, Польше и других странах. В России в различных регионах выращивают три вида свеклы – кормовую, сахарную и столовую. По материалам данных Федеральной службы государственной статистики урожайность корнеплодных кормовых культур и свеклы кормовой сахарной в целом по Российской Федерации в хозяйствах всех категорий в 2016 г составила 254,5 ц с 1 га уборной площади. Посевные площади для вышеуказанных культур в 2016 г составили 41,7 тыс.га, а валовой сбор составил 10484,93 тыс.ц [36, 39, 43, 113, 120, 176, 179]. Однако эффективность их

использования во многом определяется качеством подготовки кормовых корнеклубнеплодов к скармливанию. Исследования показали, что использование неочищенных от почвы кормовых корнеклубнеплодов ведет к желудочным заболеваниям животных, резкому снижению продуктивности скота [41, 125]. В связи с этим, вопросу очистки кормовых корнеклубнеплодов от примесей уделяется большое внимание [34, 65, 76, 105, 120, 130, 144, 153, 162, 163].

Диссертационная работа «Повышение эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию» выполнялась согласно научной тематики Луганского национального аграрного университета по темам «Усовершенствование процессов пневмомеханической очистки корнеклубнеплодов от примесей» и «Комплексная механизация производственных процессов в АПК» (№ государственной регистрации 0104U005400). Работа проводилась на кафедре механизации производственных процессов в животноводстве Луганского национального аграрного университета в период с 1998 по 2006 годы и на кафедре безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Степень разработанности темы. Значительный вклад в исследование процессов механической очистки различного рода поверхностей в сельскохозяйственном производстве внесли многие российские и зарубежные ученые: С.Н. Шуханов, П.Н. Кузнецов, В.Е. Зубков, С.В. Соловьев, В.И. Горшенин, А.В. Кузьмин, Г.П. Юхин, В.М. Мартынов, П.И. Огородников, В.М. Мучников, С.А. Ма, А.Г. Нагорный, В.В. Труфанов, С.А. Найданов, В.А. Пучков, В.И. Сыворотка, В.А. Сероватов, А.В. Дервиш, Л.И. Слав, В.М. Архиреев, П.И. Пороховский и многие другие.

Основой всех исследований рабочих органов сепараторов и сортировальных машин для корнеклубнеплодов явились труды основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина, создавшего

теоретические основы для расчета большинства типов машин сельскохозяйственного назначения [44-46, 52, 57-59, 71, 75, 77, 78, 82, 119, 133, 140, 141, 153, 165, 175, 181, 192].

Для очистки кормовых корнеплодов от примесей в настоящее время имеется ряд очистителей, обладающих определенными конструктивно-технологическими отличиями.

Необходимость разработки новых конструкций очистителей обусловлена стремлением сократить потребляемые ресурсы и упростить технологические линии в стационарных хранилищах и кормоприготовительных цехах.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – повышение эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию путем разработки конструкции и определения рациональных конструктивно-технологических параметров гофрощеточного очистителя для механической (безводной) очистки и отделения кормовых корнеплодов от примесей.

Задачи исследования:

- определить пути повышения эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию сельскохозяйственным животным и разработать конструктивно-технологическую схему гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов;

- разработать математическую модель движения корнеплодов в рабочем объеме очистителя, позволяющую обосновать основные конструктивно-режимные параметры гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов;

- экспериментально подтвердить результаты теоретических исследований и определить рациональные параметры предлагаемого устройства;

- произвести проверку разработанного гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов в производственных условиях и оценить экономическую эффективность его применения.

Объект исследования – технологический процесс механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов при подготовке их к скармливанию сельскохозяйственным животным.

Предмет исследования – закономерности технологического процесса механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов при подготовке их к скармливанию сельскохозяйственным животным.

Научная новизна. Научной новизной обладают:

- конструктивно-технологическая схема гофрощеточного очистителя, отличающаяся характером воздействия рабочих элементов на кормовые корнеплоды;

- математическая модель движения очищаемых корнеплодов, отличающаяся учетом особенностей взаимодействия их с гофрощеточными барабанами очистителя и регулируемой заслонкой между ними;

- результаты экспериментальных исследований гофрощеточного очистителя, отличающиеся тем, что определены для варианта очистителя с усовершенствованной конструкцией рабочих органов;

- рациональные параметры гофрощеточного очистителя, отличающиеся учетом конструктивных особенностей гофрированных щеточных ворсин криволинейной формы пильчатого профиля.

Теоретическая и практическая значимость работы. Получены аналитические зависимости для определения основных параметров и режимов работы гофрощеточного очистителя корнеплодов, его производительности и затрат мощности на привод.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили обосновать конструкцию нового технического средства, исключая использование воды и безвозвратные потери почвенных примесей (плодородного слоя земли), благодаря чему можно снизить энерго- и ресурсоемкость технологического процесса очистки кормовых корнеплодов.

Предложенные технические решения, защищенные патентами на изобретение и полезные модели, позволят повысить эффективность механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов от примесей.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы при проектировании и эксплуатации очистителей кормовых корнеплодов.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования базируются на численных методах решения систем неоднородных дифференциальных уравнений, теории вероятности и математической статистики и проводились с использованием основных положений аналитической механики, высшей математики и теории машин и механизмов. Экспериментальные исследования были выполнены в лабораторных условиях на разработанных автором экспериментальных установках с использованием методов и пакетов современных прикладных программ вычислительной математики, методов планирования факторных экспериментов и статистической обработки экспериментальных данных. Полученные результаты обрабатывались в программе MathCAD Professional 2001, STATISTICA Plus (версия 6), Regress Analysis (версия 2.3).

Положения, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая схема гофрощеточного очистителя, позволяющая повысить эффективность механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов;

- математическая модель движения очищаемых корнеплодов в рабочем объеме гофрощеточного очистителя, позволяющая обосновать параметры и режимы работы предлагаемого устройства;

- закономерности технологического процесса работы гофрощеточного очистителя, позволяющие оценить снижение энерго- и ресурсоемкости механической очистки корнеплодов от примесей и эффективность предложенных технических решений;

- рациональные параметры гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов, позволяющие улучшить качество поверхностной очистки кормовых корнеплодов без использования воды.

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты исследований получены с применением апробированных теоретических положений, обработкой аналитических зависимостей на ЭВМ с использованием прикладных математических программ, проведения эксперимента по методу планирования факторных экспериментов и статистической обработки экспериментальных данных. Достоверность теоретических положений подтверждается достаточной сходимостью результатов аналитических и экспериментальных исследований (отклонения 5...7 %).

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на ежегодных научно-практических конференциях Луганского национального аграрного университета (1999-2006, 2013-2014 гг.), на IX Международной научно-практической конференции Кировоградского национального технического университета (г. Кировоград, КНТУ, 2013 г.), на Международной научно-практической конференции «Современные направления усовершенствования технических систем и технологий в животноводстве» на базе УНИ технического сервиса ХНТУ сельского хозяйства имени Петра Василенко (г. Харьков, ХНТУ, 2014 г.), на XXII Международной научно-технической конференции «Технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» на базе ННЦ «ИМЭСХ» (пгт. Глеваха Киевская обл., 2014 г.).

Результаты диссертационной работы переданы Управлению агропромышленного развития Троицкой райгосадминистрации в Луганской области, а также представителям крестьянско-фермерского хозяйства «Л.Е.Н.А.» Троицкого района Луганской области (руководство КФХ «Л.Е.Н.А.» подтверждает целесообразность использования гофрощеточного очистителя для очистки кормовых корнеплодов) (приложение А).

Результаты диссертации внедрены в учебный процесс на Старобельском факультете ГУ «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко», а также, в рамках соглашения о творческом сотрудничестве, переданы Пекинскому международному культурному центру, с целью дальнейшей производственной проверки и опробования в условиях сельского хозяйства Китайской народной республики (приложение А).

Личный вклад автора. Автором самостоятельно проведен анализ и разработана классификация существующих устройств для механической очистки кормовых корнеплодов, разработана конструктивно-технологическая схема нового очистителя, разработана методика исследований, экспериментально подтверждены результаты теоретических исследований и определены основные рациональные конструктивно-технологические параметры нового очистителя; получены четыре патента на изобретение и полезные модели, проведен технико-экономический анализ использования предлагаемого очистителя, выполнена апробация результатов исследования на международных и вузовских научно-практических конференциях в 1999–2014 годах, а также в условиях КФХ «Л.Е.Н.А.», подготовлены публикации.

Публикации по теме диссертации. По результатам диссертационной работы опубликовано 24 научные работы, из них 6 статей – в изданиях, включенных в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций. Получены 4 патента Украины на изобретение и полезные модели (приложение Б).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 193 наименования, 13 из которых на иностранных языках, и 12 приложений. Общий объем диссертации 236 страниц, работа содержит 66 рисунков и 12 таблиц.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ К СКАРМЛИВАНИЮ

1.1 Аналитический обзор технологий послеуборочной механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов

На современном этапе развития сельского хозяйства большое внимание следует уделять интенсификации производства продукции животноводства: мяса, молока, яиц, шерсти, субпродуктов и сырья для промышленности [43, 168]. Устойчивое развитие животноводства России осуществляется в основном за счет промышленного (коммерческого) сектора. Продукция этой отрасли может стать одним из основных предметов экспорта на внешний рынок и интегрировать аграрное производство России в мировую экономику. Поголовье крупного рогатого скота в России по состоянию на 1 октября 2016 года в хозяйствах всех категорий насчитывало 19 456,1 тыс. голов. В том числе, поголовье коров насчитывало 8 322,4 тыс. голов. Поголовье свиней в России в хозяйствах всех категорий по состоянию на 1 октября 2016 года насчитывало 23 256,8 тыс. голов. Рост поголовья за год составил 4,5%. Общий объем производства мяса всех видов в России в хозяйствах всех категорий в живом весе в январе-сентябре 2016 года составил 9 474,4 тыс. т. По отношению к январю-сентябрю 2015 года объем производства в живом весе вырос на 4,7% или на 423,5 тыс. т [39, 74, 113].

Эффективность животноводства во многом обусловлена обеспеченностью животных кормами соответствующего качества. Опыт сельскохозяйственных предприятий показывает, что при всех способах кормления наиболее эффективны полнорационные смеси, сбалансированные по питательным веществам, протеину, витаминам и микродобавкам. Значительный удельный вес в кормовом балансе сельскохозяйственных животных занимают кормовые корнеклубнеплоды: свекла кормовая, сахарная и полусахарная,

брюква, гибрид брюквы с репой и капустой (куузика), морковь, турнепс, картофель, земляная груша (топинамбур), плоды тыквы, кормовой арбуз, кабачки. За исключением сахарной свеклы, корнеклубнеплоды взрослым жвачным животным можно скармливать до 20...30 кг в сутки на одну голову, овцам – 3...4 кг, свиньям – до 6...8 кг на 100кг живой массы, птице – 10...30% от энергетической питательности рациона [126, 193]. По кормовым качествам сахарная свекла значительно превышает другие корнеплоды: в 100кг сахарной свеклы содержатся 26 кормовых единиц (КЕ), 1,2кг перевариваемого протеина, 0,5кг кальция и 0,5кг фосфора. Однако сахарная свекла усваивается крупным рогатым скотом (КРС) лишь на 40%, а кормовая свекла – на 100%. Поэтому скармливать ее скоту нецелесообразно [43, 176].

Кормовые корнеклубнеплоды обладают высокой питательной ценностью (таблица 1.1 и рисунок 1.1), являются молокогонным и диетическим кормом [173, с. 100-125].

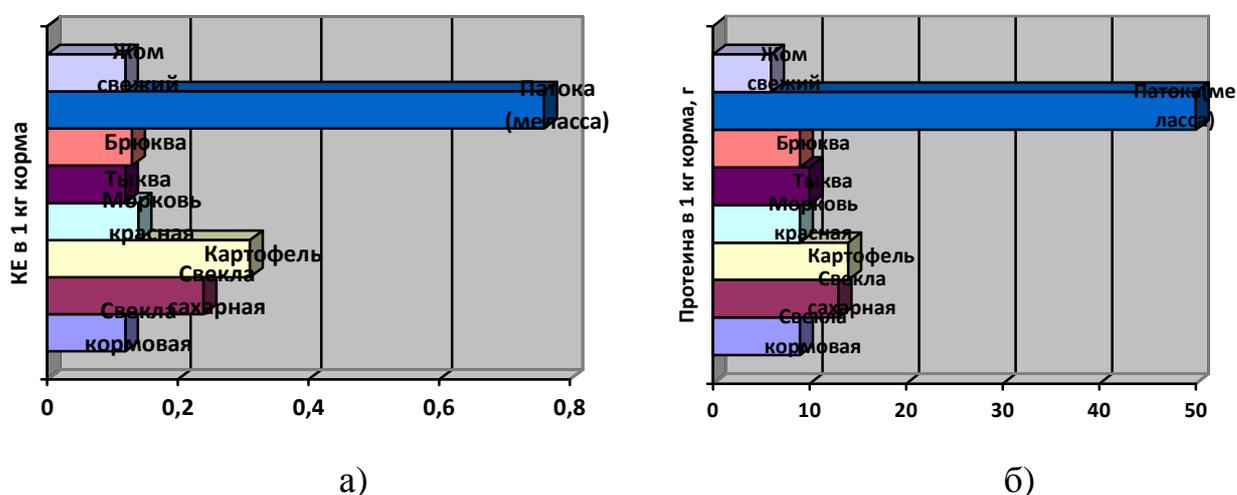


Рисунок 1.1 – Содержание кормовых единиц (а) и перевариваемого протеина (б) в 1 кг корма

В рацион коров можно включать до нескольких десятков килограммов кормовых корнеплодов в день и добиваться при этом высоких надоев. Включение в рационы дойных коров 8...10 кг кормовой или полусахарной свеклы способствует повышению молочной продуктивности коров на 6,5...21,4

%; улучшению перевариваемости и усвоению азотистых веществ потребляемых кормов; снижению затрат корма на единицу продукции на 4...7 % [168, 173].

Таблица 1.1 – Состав и питательность кормовых корнеплодов

Показатели	Свекла кормовая		Свекла сахарная		Морковь		Турнепс		Брюква		Картофель	Тыква
	корнеплоды	ботва	корнеплоды	ботва	корнеплоды	ботва	корнеплоды	ботва	корнеплоды	ботва	клубни	плоды
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.Содержание в натуральном корме, % :												
сухого вещества	14	9	24	19	14	8	9	-	13	8	21...29	7...14
протеина	1,1	15	8	18	0,7	14	0,9	18	0,9	19	15...22	0,5...0,7
клетчатки	1	12	5	14	1	13	1	10	1,3	13	0,5...0,8	-
БЭВ	10	5,7	20	4,4	11	9,1	7	4,8	8,2	7,3	18,8	5
жира	0,2	-	-	-	0,3	-	0,1	-	0,2	-	-	-
зола	1	12	0,6	14	0,5	10	0,5	12	0,6	12	0,4...0,6	0,5
2.Содержание в сухом веществе:												
каротина, мг/кг	-	380	-	260	200	440	-	190	14	325	-	28
витамина С, мг/%	70	36	53	45	45	118	86	96	255	670	20...32	10...40
сахаров, %	55	18	69	43	79	19	55	29	43	20	-	5...10
крахмала, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15...22	-
3.В 100 кг корма, кг :												
кормовых единиц	13	16	24	20	14	16	11	12	11	12	26	9,5...10
перевариваемого протеина	1	1,6	1,3	2,2	0,4	1,5	1,4	1,6	1,5	1,7	-	0,4..0,5

Экономия концентрированных кормов в 1,5...2 раза благодаря скармливанию кормовой свеклы подтверждается данными зарубежных ученых [1-13, 43].

Дополнительным ценным источником кормов являются листья свеклы: они содержат 10...15 % протеина и больше чем злаковые культуры натрия, магния и железа. При урожайности 600 ц/га корнеплодов листья дают 25...30 ц к.ед. [43, с .366]. Схема использования кормовой свеклы представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Схема использования кормовой свеклы

В настоящее время на полях Российской Федерации выращивают многие сорта и гибриды кормовой и полусахарной свеклы: Эккендорфский желтый,

Авангард, Амиго, Барбара, БЖВ, Болеро, Донор, Кирос, Магнум, Победитель, Роте Вальце, Урсус и др. Практически все они отличаются высоким содержанием сухого вещества, перевариваемого протеина, сахара, устойчивы к болезням и вредителям, пригодны к механизированному возделыванию и длительному хранению и являются важной составной частью в полнорационном кормлении животных [39, 43, 113]. Это определяет существенную значимость правильной и качественной подготовки их к скармливанию. На долю кормов приходится более половины себестоимости продукции животноводства. Поэтому их подготовка к скармливанию в соответствии с зоотехническими требованиями приобретает приоритетное значение.

Корнеклубнеплоды, поступающие в обработку на животноводческие фермы, в технологические линии кормоцехов или на мобильные кормоприготовительные агрегаты, всегда загрязнены землей, песком, разными посторонними примесями и представляют собой неоднородную массу в виде вороха [32, 35, 56, 125, 130]. Они могут подаваться непосредственно с поля в период уборки или из мест хранения (бурты, траншеи, бетонные ямы, хранилища). Для механизированной уборки корнеплодов кормовой свеклы применяют корнеуборочные машины РКС – 6 и РКС – 4 с приспособлениями РКС – 6.65000 (Россия), корнеуборочные машины МКК – 6, МКР-2-3, специальный копатель ККГ-1,4 и другие машины, специально приспособляемые для этих целей. В настоящее время также повсеместно применяют свеклоуборочные машины зарубежных конструкций: комбайны Moreau GR4, Moreau Lectra V2, TimSR 2500, Cleine KR-6, SF-10, Barigelli B/G, Holmer и др. Зарубежные свеклоуборочные машины, преимущественно самоходные, широкозахватные, энергонасыщенные, с высокой производительностью, с бункерами 15...35м³ и являются дорогими в приобретении и обслуживании [51, 151, 155, 161].

Одним из основных технологических требований, предъявляемых к свеклоуборочным машинам, согласно ГОСТ Р 52757 – 2007, является качество

очистки корнеплодов от земли и растительных остатков, содержание которых не должно превышать 10% в массе собранных корнеплодов, в том числе растительных остатков в виде не связанной с корнеплодами ботвы – до 5% [54]. Однако в зависимости от условий работы и засоренности полей количество свободных примесей в ворохе корнеплодов может составлять 10...15% и более и 7...9% связанной с корнями почвы [51, 151, 155, 158, 161, 167]. Повышенная влажность почвы в период уборки приводит к увеличению количества налипшей почвы, а при уборке в сухой период количество свободной почвы (комков), вывезенного с поля вместе с корнеплодами, увеличивается в 5...10 раз [155, 167, 182]. Такой ворох корнеплодов даже при перевалочном способе уборки требует полной переборки и ручной доочистки, при этом затрачивается 40...50чел-ч на гектар или более 30% всех затрат труда [76, 187]. Рельефная поверхность, канавки, углубления и корешки корнеплодов являются очагами налипания трудноотделяемой почвы. При хранении в буртах и траншеях корнеплоды дополнительно засоряются почвой, песком и соломой, загрязненность их увеличивается и достигает 20% и более к массе корней [161-163, 167].

Таким образом, корнеклубнеплоды, поступающие на обработку в кормоцех или ферму с полей или из хранилищ, всегда имеют повышенную загрязненность различными примесями. Классификация примесей в виде схемы представлена на рисунке 1.3.

В процессе очистки корнеплодов при подготовке их к скармливанию необходимо, в первую очередь, налипшие примеси перевести в свободные, удалить их из рабочего объема очистителя, а затем отделить камни и металлические включения. Отделение свободных примесей (комков, камней и растительных остатков) можно производить на сепарирующих ворохоочистительных установках – сепараторах, однако эффективность любого очистительного рабочего органа во многом зависит от степени и качества отделения связанной с корнеклубнеплодами почвы и ее просеивания.

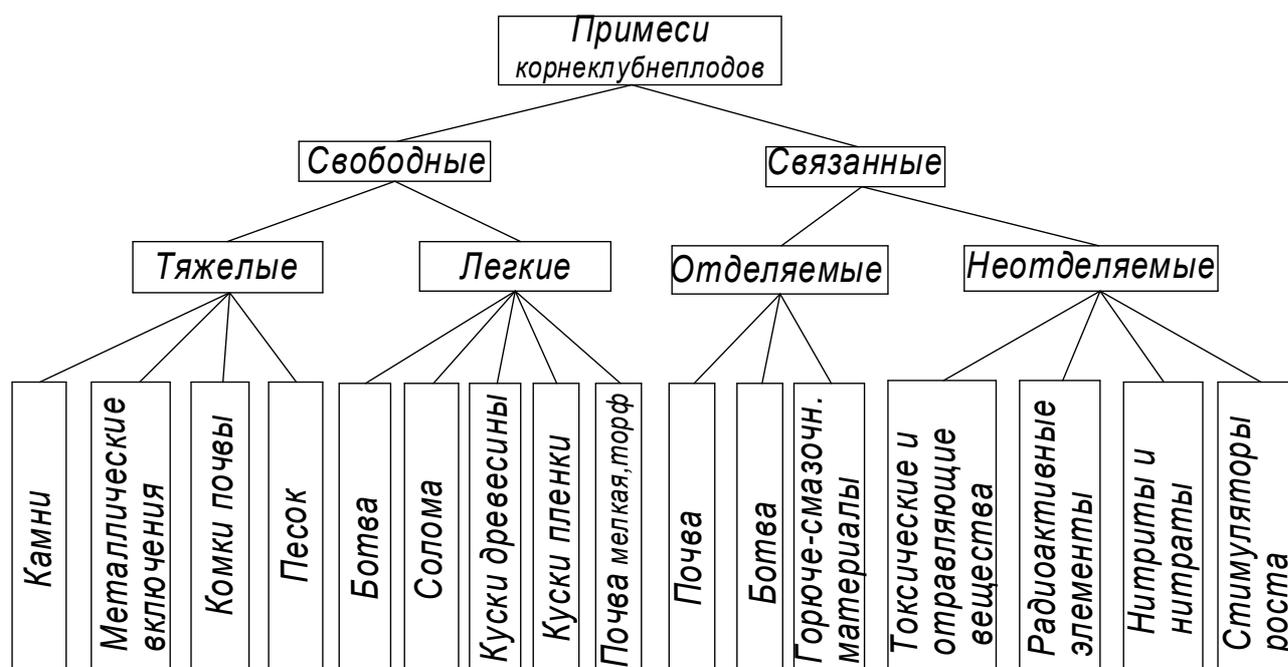


Рисунок 1.3 – Классификация примесей корнеклубнеплодов

Основная трудность отделения связанной почвы состоит в том, что она находится не только на поверхности в виде местных скоплений, но и заполняет канавки, углубления, микротрещины и межкорешковое пространство. Очистка от этих примесей сводится, прежде всего, к преодолению сил сцепления с поверхностью корнеклубнеплода, а затем их разделению и удалению. Эту трудоемкую операцию выполняют как сухим безводным способом, так и гидромеханическим (мойкой) [162, с. 25]. На практике, при послеуборочной подготовке корнеклубнеплодов к скармливанию сельскохозяйственным животным, широкое распространение получил второй, гидромеханический способ очистки. Однако, в последнее время, ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по изысканию и созданию новых машин и рабочих органов для механической (безводной) очистки корнеклубнеплодов от налипших примесей [30, 32, 34, 35, 48, 49, 56, 60, 64, 68, 69, 162, 163].

Основными операциями технологического цикла обработки и приготовления корнеклубнеплодов являются прием и накопление их, гидромеханическая очистка (мойка) от загрязнений, их измельчение и

дозированная подача в смеситель (рисунок 1.4). Самой распространенной комбинацией машин по данной технологии является транспортер-питатель корнеплодов ТК-5 (ЛЗМ-1,5), мойка-измельчитель ИКМ-Ф-10 (ИКМ-5), дозатор. Они установлены в линиях обработки корнеклубнеплодов комплектов оборудования кормоцехов КОРК-15, КЦМ-5, кормоцехах серии КЦС.

Очистка корнеклубнеплодов от примесей здесь осуществляется гидромеханическим способом, которому присущи следующие недостатки: повышенный расход воды (до 400л на одну тонну загрязненных корнеклубнеплодов); необходимость строительства надежной канализации и грязеотстойников; вместе со сточными водами теряется плодородный слой почвы, налипшей на корнеплодах; сравнительно низкая производительность: мойка-измельчитель обеспечивает паспортную производительность только на слабо загрязненных корнеклубнеплодах (3...6%), а с увеличением загрязненности до 20% и более ее производительность снижается и возрастает удельный расход воды на мойку [32, 34, 35, 48, 49, 56, 64-69].

Кроме того, мойка-измельчитель не отделяет легкие примеси в виде ботвы, соломы, полиэтиленовой пленки, что приводит к забиванию измельчающего аппарата и нарушению технологического цикла. Повышенный расход воды усложняет удаление отходов, загрязняет рабочее место, в зимнее же время года необходимо применение дополнительных электрообогревателей, что влечет за собой повышение энергозатрат [64-69, 73, 125].

Решение данной проблемы содержит в себе источник значительной экономии ресурсов в кормопроизводстве и животноводстве Российской Федерации и может быть обеспечено за счет создания новых технических средств или совершенствования уже существующих машин и рабочих органов.

С учетом вышесказанного возникает необходимость разработки нового технологического процесса и эффективного устройства для его реализации, лишенного вышеперечисленных недостатков и способного гидромеханическую очистку (мойку) заменить механической очисткой корнеклубнеплодов от загрязнений без использования воды.

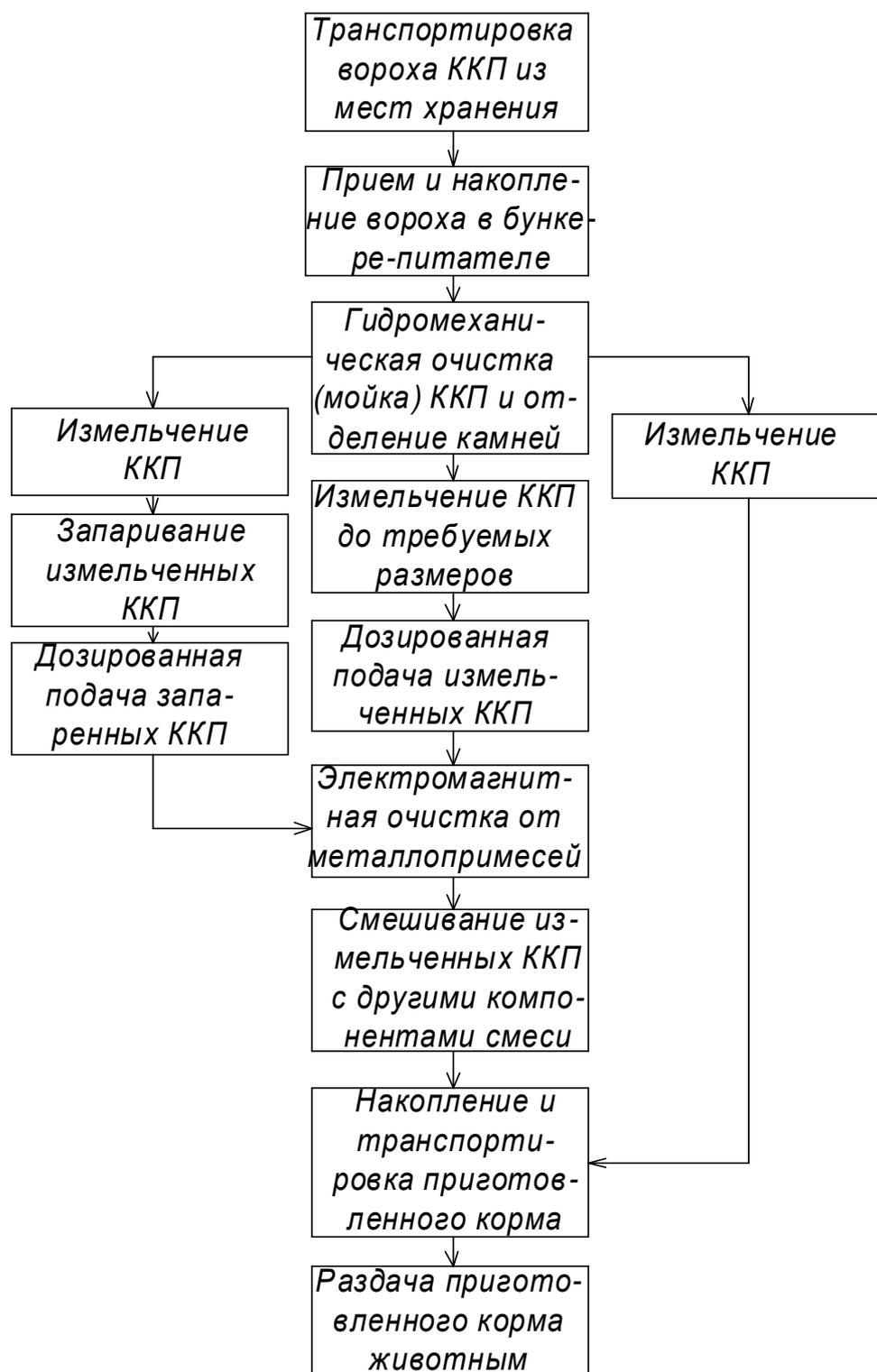


Рисунок 1.4 – Технологические схемы цикла подготовки и приготовления кормовых корнеплодов к скармливанию животным

Наличие подобного очистителя будет способствовать улучшению качестваготавливаемых кормов, снижению затрат труда на единицу продукции, улучшению условий труда обслуживающего персонала, что, в свою

очередь, повлияет на снижение себестоимости продукции, сокращению расхода воды в кормоцехе, снятию проблемы с утилизацией загрязненных стоков и, тем самым, уменьшению загрязнения окружающей среды. Отделенную от корнеклубнеплодов почву в сухом виде можно возвращать снова на поля. Это особенно важно сейчас, когда вынос питательных веществ и энергии с урожаем в 3 раза превышает их поступление в почву [117, 176].

1.2 Анализ, классификация, конструкторские особенности и качественные показатели работы устройств и рабочих органов для механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов

Очистка или отделение корнеклубнеплодов от посторонних примесей является неотъемлемой частью технологических процессов механизированной уборки, послеуборочной доработки корнеклубнеплодов и подготовки их к хранению или к скармливанию сельскохозяйственным животным.

Анализ использования корнеуборочных машин в различных регионах России и за рубежом показывает, что корнеплоды кормовой свеклы без сверхнормативного количества почвенных и растительных примесей могут быть собраны лишь в оптимальных условиях уборки. Недостаточная приспособляемость существующих конструкций выкапывающих и особенно очистительных рабочих органов корнеуборочных машин к изменяющимся условиям работы (повышенная или пониженная влажность почвы, засоренность поля камнями и сорной растительностью и т.д.) однозначно приводит к снижению полноты уборки корнеклубнеплодов, увеличению общей засоренности вороха растительными остатками, комками почвы и камнями, увеличению количества травмированных корнеплодов. Таким образом, практически всегда возникает потребность в послеуборочной доработке (доочистке) корнеклубнеплодов перед закладкой их на хранение или непосредственно при подготовке их к скармливанию животным.

В процессе послеуборочной доработки корнеклубнеплодов отделение примесей может выполняться двумя основными способами:

- 1) дискретный способ, т.е. ручная переборка;
- 2) поточный способ с использованием самых разнообразных конструкций механических устройств и автоматических отделителей примесей.

Ручной способ позволяет корректировать работу предыдущих очистительных устройств для окончательного отбора примесей из вороха корнеклубнеплодов [103, 109, 119, 152]. Данное корректирование осуществляется путем отбора корнеплодов или примесей (в зависимости от их количества в массе) на переборочных столах различного типа: роликовых, прутковых и ленточных транспортерах, вращающихся плоских дисков и т.д. Однако с использованием рабочих на ручной переборке резко увеличиваются затраты труда на производство единицы продукции и ее себестоимость.

По принципу возможной сепарации все автоматические отделители подразделяются на рентгеновские и радиометрические, фотометрические и фотоэлектрические [100, 149, 157, 178], радиоволновые, емкостные и отделители, сепарирующие по признаку различной магнитной проницаемости и электропроводности. Значительным преимуществом автоматических отделителей является то, что нет механического контакта между телом и техническим средством, с помощью которого достигается разница в свойствах. К недостаткам их следует отнести то, что перед контролем необходимо предварительно сортировать компоненты вороха, что значительно усложняет конструкцию отделителя. Кроме того, рентгеновские и радиометрические отделители требуют дополнительной защиты обслуживающего персонала от излучения. Наиболее эффективно использовать автоматические отделители на стационарных переборочно-сортировальных пунктах в комбинации с механическими отделителями.

Широкий ряд механических очистителей-отделителей отличаются простотой конструкции, эксплуатации и обслуживания (рисунок 1.5). Рабочие органы механических отделителей корнеклубнеплодов от примесей для разделения

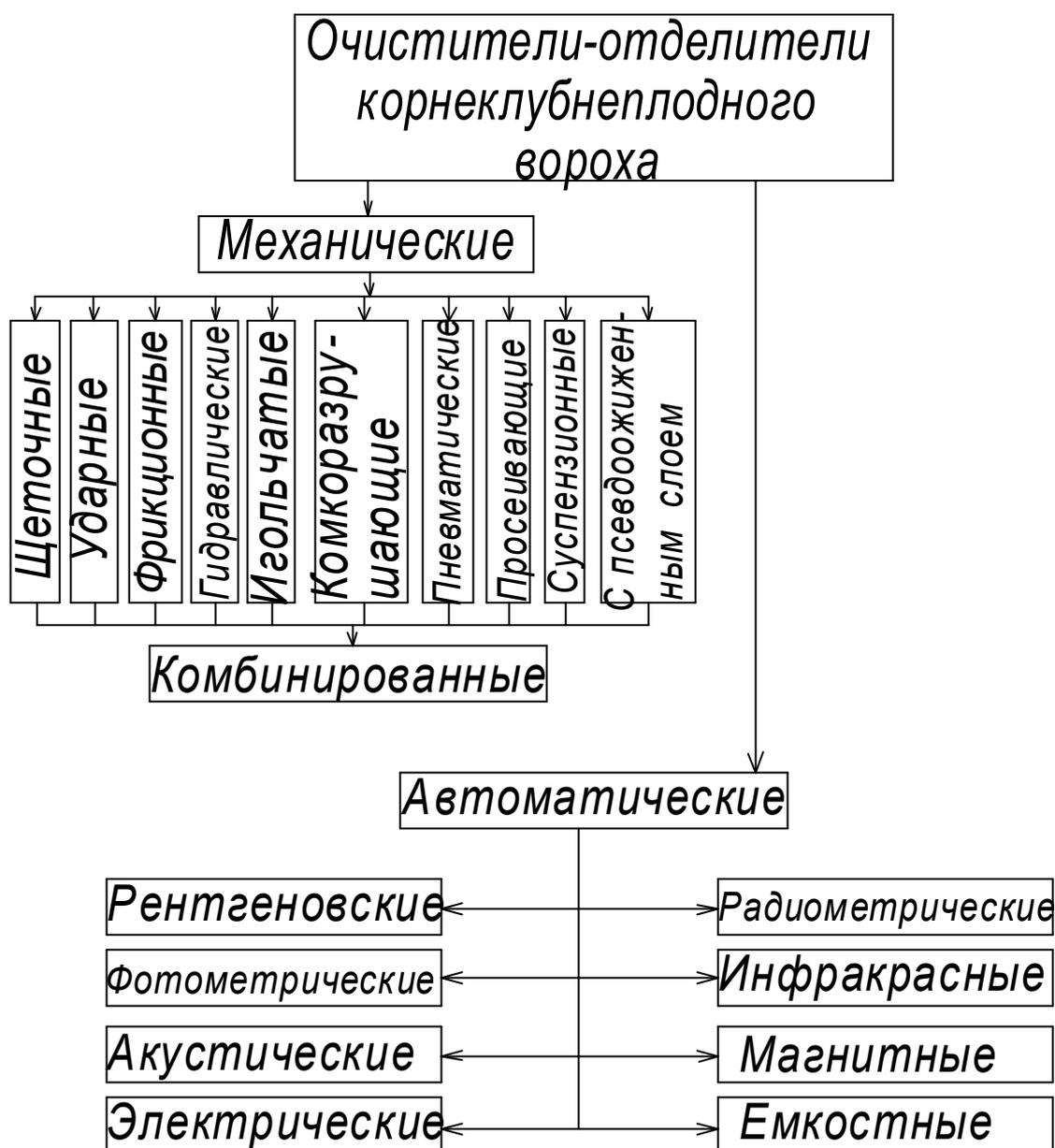


Рисунок 1.5 – Классификация рабочих органов для отделения корнеклубнеплодов от свободных примесей

используют такие свойства тел как плотность, масса, форма (размерные характеристики), упругость, фрикционные свойства, твердость и прочность, аэродинамические свойства и т.д. [103-107, 119, 130, 131]. Механические отделители, как правило, обеспечивают теоретически полное разделение в узком диапазоне параметров, влияющих на процесс сепарации.

Разработкой технических средств для механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов занимаются ведущие институты России: ВИМ, ВИЭСХ, ВНИПТИМЭСХ, ЦНИПТИМЭЖ, ЧИМЭСХ, ВНИИживмаш, УНИИМЭСХ, БСХА, а так же зарубежные фирмы. Исследования механических отделителей показали, что наиболее работоспособны те, которые ведут разделение на основе комплекса признаков, в котором доминирует плотность.

Плотность составляющих вороха существенно различается: средний удельный вес корнеплодов кормовой свеклы, например, составляет 930...1100кг/м³, почвенных комков - 1400кг/м³, а камней - 1900кг/м³[48, 49, 79, 97, 103, 111, 115]. К очистителям, использующим данный признак разделения, относятся многочисленные сепараторы, которые отделяют корнеклубнеплоды от примесей на щетках (щеточные и транспортерно-щеточные отделители), в суспензии в «кипящем» слое песка или мелкой почвы, в «псевдооживленном» слое с ограниченной в движении твердой фазой и т.д. [14-27, 32, 48, 56, 69, 73, 77, 78]. Полнота отделения корнеклубнеплодов от примесей при оптимальных режимах работы таких сепараторов может достигать 75...95%. Но такие недостатки этих устройств, как отрицательное влияние признака разделения «размер», зависимость разделяющей способности от ориентации компонентов в «псевдооживленном» слое, необходимость поддержания чистоты жидкости, влажности песка и т.д., неравномерность воздушных характеристик «псевдооживленного» слоя по высоте не позволяют стабильно выдерживать высокую разделяющую способность данных сепараторов.

Анализ схем сепарации и результатов исследований очистителей-отделителей основных видов позволяет сделать вывод о том, что для очистки корнеклубнеплодов при подготовке их к скармливанию животным пригодны лишь те конструкции сепараторов, которые одновременно с отделением свободных примесей, позволяют также производить эффективную очистку поверхностей корнеклубнеплодов от связанной налипшей почвы и ботвы. В связи с этим предлагается уточненная классификация способов, устройств и рабочих органов для очистки и отделения кормовых корнеплодов с точки

зрения использования в технологических схемах обработки и приготовления корнеклубнеплодов к скармливанию животным (рисунок 1.6).

В настоящее время совершенствование технологического процесса очистки корнеклубнеплодов идет или по пути максимального снижения расхода воды или по пути полного исключения применения воды во вновь создаваемых устройствах механической (безводной) очистки. Для выявления эффективности различных способов очистки корнеклубнеплодов и обоснования конструкции предлагаемого рабочего органа очистителя проведем анализ конструкторско-технологических схем существующих устройств для очистки согласно приведенной классификации.

Кулачковые рабочие органы (рисунок 1.7) (дисковые, пайлерные, лопастные, многоугольные, звездчатые) используются в различных конструкциях очистителей на свекло – и картофелеуборочных комбайнах России и дальнего зарубежья, в корнеклубнемоёйках в технологических линиях кормоцехов, а также в горнообогатительной, сахарной и др. областях [151, 153, 176, 185]. Рабочие органы представляют собой набор параллельно расположенных, вращающихся в одном направлении валов 1, на которые в шахматном порядке насажены диски или кулачки 2 разнообразной формы. При вращении валов в направлении движения вороха корнеклубнеплодов, рабочие поверхности кулачков воздействуют на него, отделяя как свободные так и налипшие примеси [153, 187, 190].

Преимуществом кулачковых рабочих органов является то, что они имеют высокую транспортирующую и очищающую способность, лопастями взаимодействующих кулачков возможно обрушение и отделение почвенных комков. К недостаткам кулачковых очистителей относится наматывание сорной растительности на вращающиеся элементы, повышенная повреждаемость корнеклубнеплодов, при попадании камней или металлических предметов происходит их заклинивание между соседними кулачками, что может вывести из строя весь очиститель.

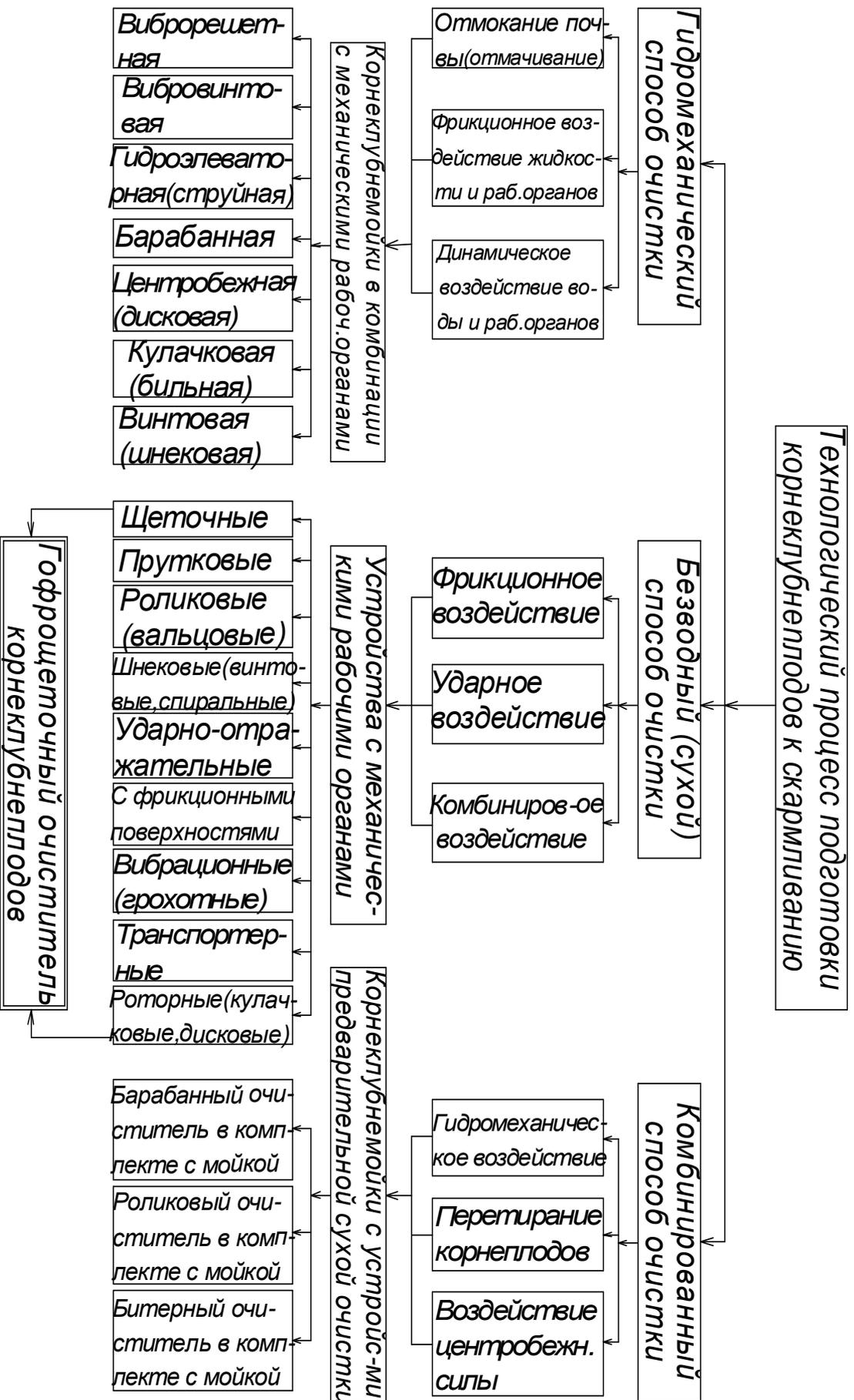


Рисунок 1.6 – Классификация способов и устройств для очистки корнеклубнеплодов при подготовке их к скариливанию животных

скариливанию животных

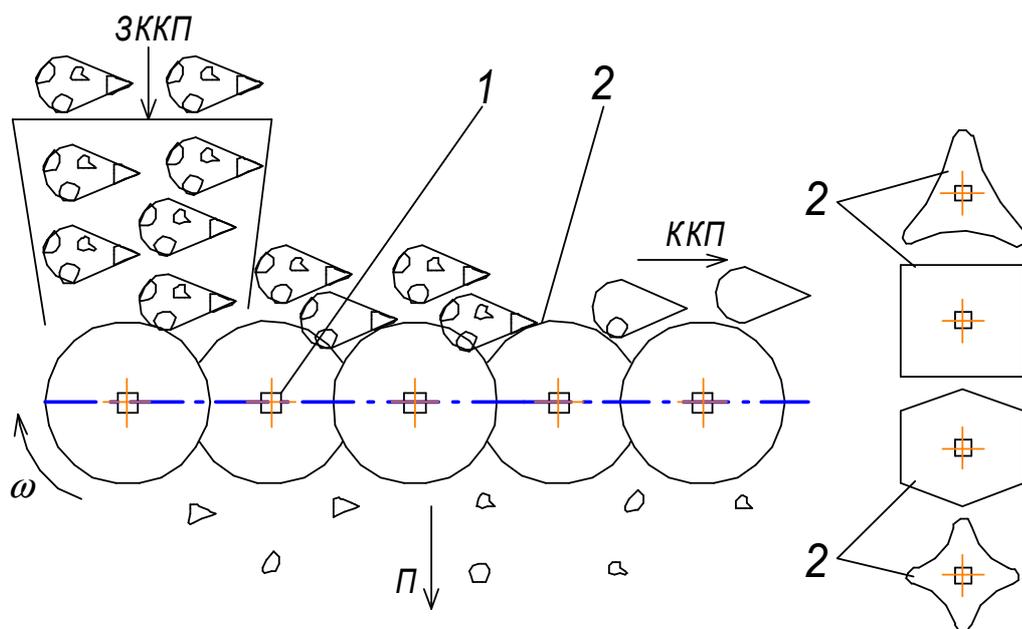


Рисунок 1.7 – Конструкторско-технологическая схема рабочих органов кулачковых очистителей (ЗККП – загрязненные корнеклубнеплоды, ККП – очищенные корнеклубнеплоды, П - примеси)

К рабочим органам вибрационных очистителей относятся вибрационные решета (грохоты) и встряхивающие элеваторы, которые применяются в виброрешетных и вибровинтовых корнеклубнемоёйках в технологических линиях кормоцехов, на пунктах послеуборочной доработки корнеклубнеплодов, а также на свекло – и картофелеуборочной технике.

Грохотные (решетные) вибрационные очистители прогрессивнее элеваторных. П.В. Полохин, А.К. Сарапулов (Россия) исследовали работу однорешетных грохотов для очистки корнеклубнеплодов [103, 153] с целью повышения эффективности механизации приготовления кормов (рисунок 1.8). В процессе работы корнеклубнеплоды непрерывно поступают через загрузочный лоток 1 на вибрирующее решето 2 и обмываются струями воды из оросителя 3. Под действием сил инерции, создаваемых вибратором 4 и действующих на корнеклубнеплоды при соприкосновении с дном желоба, трения их друг о друга и стенок рабочего органа, происходит отделение загрязнений от корней. Для интенсификации процесса очистки над решетом

устанавливался ограничитель колебаний корней 5 в виде шарнирно навешиваемого набора подпружиненных планок.

Существенным преимуществом данного типа очистителя является кратковременность протекания выделения почвы из вороха, уменьшенный расход воды, достаточно высокая степень очистки корнеклубнеплодов. Одним из основных недостатков виброрешетных очистителей является то, что при продолжительной работе их просеивающая поверхность забивается растительными примесями и почвой. Относительно высокая повреждаемость корнеклубнеплодов в процессе очистки также сужает область их применения.

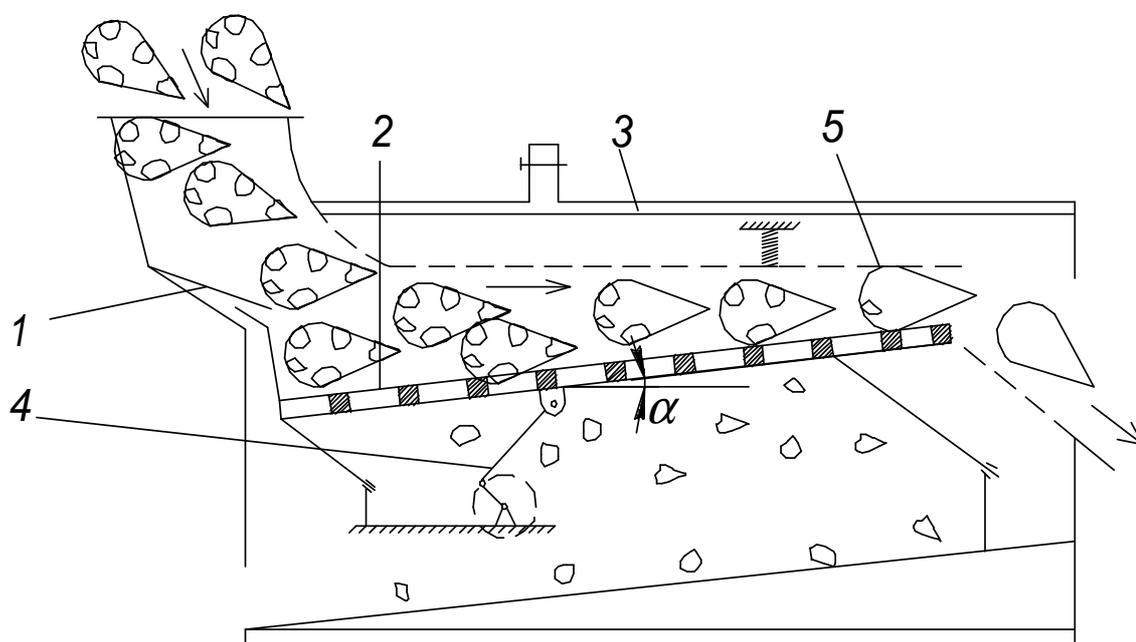


Рисунок 1.8 – Конструкторско-технологическая схема виброрешетной корнеклубнемоечной машины

Барабанные и барабанно – роликовые рабочие органы применяют в комбинированных устройствах для предварительной механической (безводной) очистки корнеплодов перед мойкой ИКУ-Ф-10, МП-2,5 (рисунок 1.9), ПВ-1500 (Чехия) и др., на свекло – и картофелеуборочных комбайнах в качестве сепарирующих конвейеров-очистителей [42, 49, 64-67, 103, 153, 186].

Более эффективными очистительными устройствами, по мнению ряда ученых [64-67, 103, 137], являются очистители с комбинированными

барабанно-роликовыми рабочими органами в сочетании с корнеклубнемойкой (рисунок 1.10).

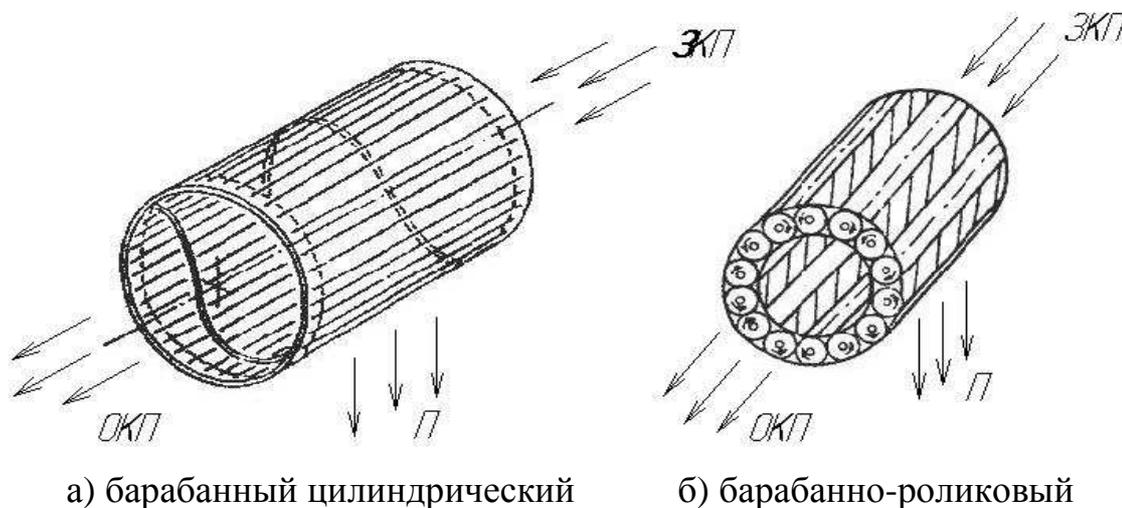


Рис. 1.9. Конструкторские схемы рабочих органов очистителей барабанного типа (ЗКП – загрязненные корнеплоды, ОКП – очищенные корнеплоды, П - примеси)

Разработанный комбинированный агрегат механической (безводной) очистки, мойки и измельчения корнеклубнеплодов ИКУ-Ф-10 предназначен для работы в технологических линиях кормоцехов на фермах крупного рогатого скота и свинофермах. Агрегат состоит из ванны 1, моющего диска 2, лопаток моющего диска 3, окна выхода примесей 4, транспортера для удаления примесей 5, кольцевой щели 6, кожуха шнека 7, шнека 8, измельчителя 9, барабанов сухой очистки 10 и 11. Машина отделяет практически все камни и другие примеси диаметром до 25мм, при этом расход воды в 1,5...2 раза меньше, чем у серийных машин ИКМ-5, ИКМ-Ф-10, а потери измельченного корма меньше в 9 раз.

Положительной стороной барабанно-роликовых очистителей являются большая пропускная способность, сравнительно небольшие габариты, довольно высокая степень отделения свободных примесей. Г.Д. Петров указывал [152], что в барабанных очистителях обрабатываемый материал движется циклически: он поднимается на некоторый угол вращающимся барабаном и

скатывается вниз, интенсивно перетираясь, затем цикл повторяется. Путь, пройденный корнеплодом таким образом, в 5...6 раз больше длины очистителя.

Отрицательной стороной является то, что в барабанно-роликовых устройствах при очистке удлиненных корнеплодов, часть корней принимает вертикальное положение. В результате происходит образование своего рода «монолита», что снижает общий эффект очистки и увеличивает количество травмированных корнеклубнеплодов.

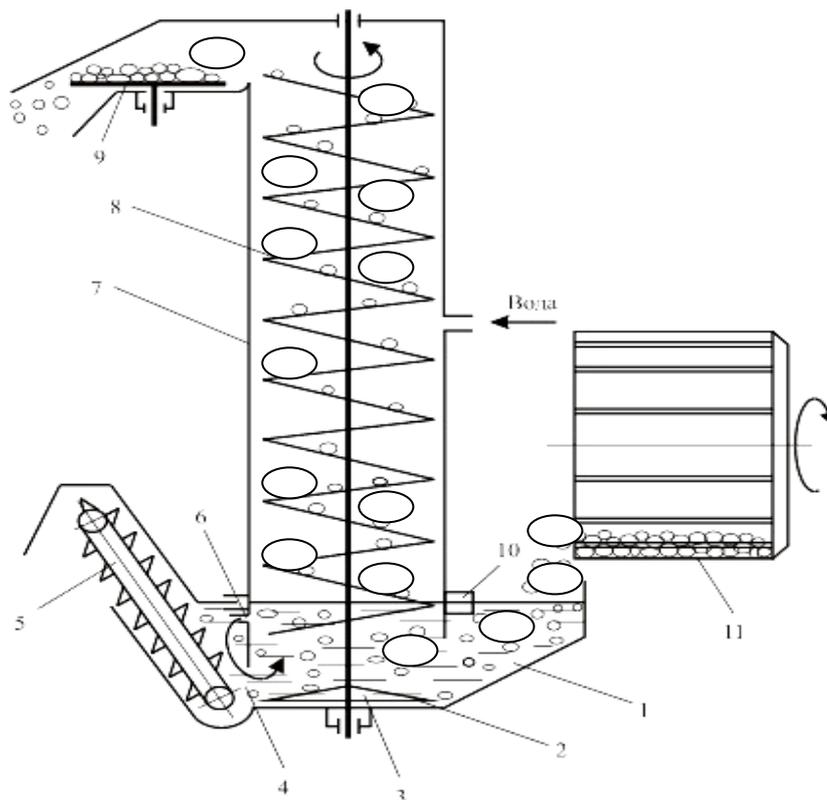


Рисунок 1.10. Конструкторско-технологическая схема очистительно – моечного агрегата ИКУ-Ф-10

Щеточные рабочие органы находят довольно широкое применение в сельскохозяйственном производстве [32, 48, 49, 56-58, 62, 69, 71, 73, 103, 153, 189]. В частности их применяют в комбинированных устройствах для очистки и отделения корнеклубнеплодов от примесей в технологических линиях кормоцехов, при послеуборочной доработке корнеклубнеплодов, а также на корнеклубнеуборочных машинах. Наиболее известными очистительно – сепарирующими устройствами данного типа являются щеточный очиститель

С.А. Найданова, В.А. Пучкова (ВИМ, Россия), щеточный очиститель Л.А. Слава, В.М. Архиреева (ЧИМЭСХ, Россия), барабанно – щеточный очиститель А.В. Дервиша, В.И. Сыроватки (ВИСХОМ, Россия), барабанно – щеточный очиститель П.В.Зайцева и Г.М. Новиковой (Чувашская ГСА), щеточное сепарирующее устройство Н.П., Ларюшкина, А.М. Ларюшкина и многие другие.

Заслуживает внимания щеточный очиститель конструкции ВИМ (рисунок 1.11) [140, 141].

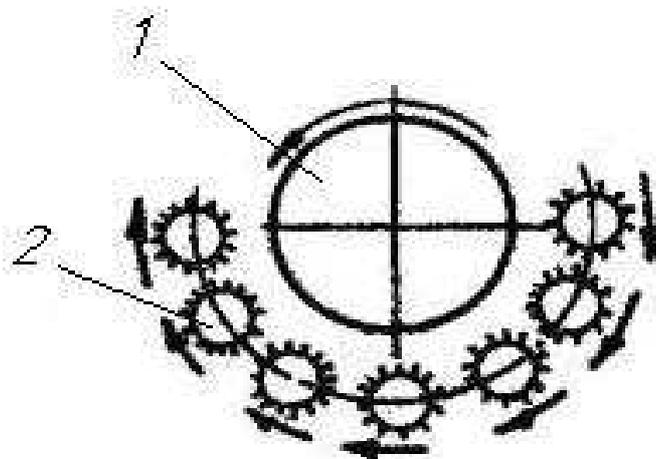


Рисунок 1.11 - Щеточный очиститель С.А.Найданова, В.А.Пучкова

Конструкция щеточного очистителя состоит из шнека 1 для корнеплодов и полуцилиндра, образованного набором горизонтально расположенных цилиндрических вращающихся щеток 2, расположенных по дуге 180-200°. Кормовые корнеплоды, транспортируемые шнеком, находятся под воздействием гладких щеточных ворсин быстро вращающихся щеток и витков шнека. Данное щеточное устройство позволяет получить высокий процент очистки, но производительность на сильнозагрязненных корнеплодах сравнительно невысока.

В Челябинском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (ЧИМЭСХ) разработана машина щеточного типа для сухой очистки кормовых корнеплодов от примесей (рисунок 1.12) [32]. Машина состоит из верхнего 1 и нижнего 2 ряда щеток коленвального типа, загрузочного

устройства 3, рамы 4, струнной решетки 5 над нижним рядом щеток и привода. Производительность очистителя до 40 т/ч, частота вращения верхних щеток 900 мин⁻¹, нижних 400 мин⁻¹. Остаточная загрязненность корнеплодов после сухой очистки на данном устройстве составила менее 3% [32]. Однако из-за сложности конструкции и привода данная машина не нашла применения в сельском хозяйстве.

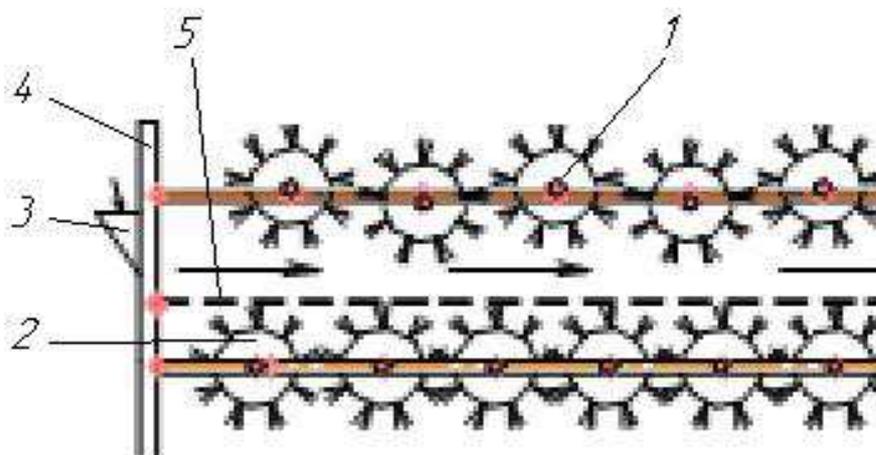


Рисунок 1.12 - Щеточная машина для сухой очистки корнеплодов конструкции ЧИМЭСХ

В приложении В представлены конструктивно-технологические схемы некоторых очистителей-отделителей со щеточными рабочими органами, виды отделяемых ими примесей и оценка эффективности отделения, очистки и повреждения корнеклубнеплодов [32, 56-58, 62, 69, 71, 73, 81, 83-100, 104, 112, 114, 119, 133, 135, 139-141, 177, 178].

Отличительной особенностью и несомненным преимуществом щеточных рабочих органов является то, что наряду с разделением корнеклубнеплодного вороха на отдельные компоненты по разнице масс, плотности и коэффициентам трения, они позволяют также посредством щеточных ворсин копировать поверхности корнеклубнеплодов и очищать налипшую на них почву и остатки ботвы (таблица 1.2).

Недостатком щеточных рабочих органов, сдерживающим их применение, является их относительная недолговечность.

Таблица 1.2 – Показатели эффективности работы очистителей
корнеклубнеплодов

Конструктивный тип очистителя	Повреж- даемость, %	Степень отделения загрязнений, %				Общее отделе- ние приме- сей всего,%
		свобод- ной почвы	свобод- ных растите- льных остатков	связан- ной почвы	связан- ной ботвы	
Щеточно-шнековый, конструкции С.А. Найданова, В.А. Пучкова	1,1	87	–	52	–	81
Барабанно-щеточный, конструкции А.В.Дервиша, В.И.Сыроватки	1,06	47	36	47	–	43
Виброрешетный с мойкой	3,98	37	78	36	41	52
Шнековый с поперечными роликами	–	57	53	48	40	65
Кулачковый	4,9	53	16	38	43	40
Вибрационный прутковый	4,7	40	66	39	51	48
Барабанно - шнековый	2,5...5	–	–	–	–	75
Каскадный качающийся	–	51	63	36	–	50
Клиноременной	–	33	18	16	18	29
Шнековый с продольными роликами	4,78	62	68	36	62	64

Основной причиной их недолговечности является жесткий способ закрепления ворсин на рабочем органе очистителя – с одной стороны это упрощает конструкцию и повышает надежность работы очистителя, а с другой – является причиной выламывания щеточного ворса в месте его заделки. Кроме того, щеточные рабочие органы довольно чувствительны к растительным примесям, которые наматываясь на щетки, препятствуют проходу материала и снижают общий эффект разделения и очистки [103, 139, 143, 153, 160, 187].

Как видим из таблицы 1.2, самый низкий процент очистки (18...43%) обеспечивают клиноременные и прутковые очистители. Они отличаются

высокой повреждаемостью корней, что ограничивает возможности их использования в качестве очистителей-отделителей.

Хорошие показатели работы имеют щеточные, шнековые и вибрационные очистители, причем шнековые и щеточные очистители в одинаковой степени эффективно отделяют все виды примесей, а вибрационные хорошо отделяют свободные примеси. Наилучшие же показатели работы имеют очистители с комбинированными рабочими органами: щеточно-шнековые (общая степень очистки более 80%), барабанно-шнековые, барабанно-щеточные, шнеково-роликовые и т.д.

Выполненный обзор способов, устройств и рабочих органов для очистки и отделения корнеклубнеплодов от свободных и налипших примесей и проведенный анализ показателей их работы позволяют выделить как наиболее эффективные очистители комбинированного типа с рабочими органами в виде шнеков или цилиндрических вращающихся щеточных барабанов. Дальнейшее их совершенствование должно быть направлено на устранение присущих им недостатков, в частности на снижение повреждаемости корнеклубнеплодов, уменьшение габаритных размеров и материалоемкости конструкции очистителей, на улучшение копирующей способности и степени отделения налипшей почвы, на повышение технологической надежности щеточных очистителей при обработке корнеплодов с загрязнениями повышенной влажности (более 18%).

Таким образом, поиск новой конструкции очистителя с комбинированными рабочими органами, который обладал бы достоинствами рассмотренных очистителей и исключал бы их недостатки, позволил выдвинуть гипотезу о возможности очистки и отделения кормовых корнеплодов от примесей при помощи гофрощеточного очистителя, который согласно разработанной нами классификации (рисунок 1.6), относится к устройствам механической (безводной) очистки с механическими рабочими органами. При этом в разрабатываемом устройстве применяется комбинация рабочих органов: гофрощеточные цилиндрические вращающиеся барабаны с дисками и

эллиптическими утолщениями на них и заслонки, регулирующие величину зазора между ними.

1.3 Анализ теоретических и экспериментальных исследований очистителей кормовых корнеплодов с гибкими упругими рабочими элементами

Гибкие упругие элементы (ворсины, нити, упругие пальцы, полоски, бичи, лопасти, стержни малой жесткости и т.д.) в основном нашли применение в очистительных устройствах со щеточными рабочими органами. Они используются для очистки дорог в коммунальном хозяйстве, аэродромов в авиации, деталей после отливки в машиностроении, для уборки помещений, в качестве средств гигиены и предметов изобразительного искусства, для очистки тканей и т.д. В сельскохозяйственном производстве их применяют для очистки головок корней кормовой и сахарной свеклы перед их уборкой, для очистки лука – севка от соизмеримых примесей на уборочных машинах, для очистки решет в зерноочистительных машинах, для очистки ножей свеклорезок в свеклосахарном производстве, в машинах для уборки льна и хлопка, для сухой очистки зерна на мукомольных предприятиях, для раздачи кормов на фермах, для очистки корнеклубнеплодов при приготовлении кормов скоту, для очистки кормушек от остатков корма, полов стойл от навоза, на щеточно–сепарирующих устройствах в томатуборочных и картофелеуборочных машинах, для очистки яиц и кур от перьев после их забоя, на высевающих аппаратах для трудносыпучего посевного материала, для удаления коры с плодов тыквенных культур и т.д. [30, 32, 38, 44, 48, 49, 57-59, 62, 66, 69, 71, 73, 78, 81-100, 112, 114, 116, 133, 139-141, 144, 157, 165, 177, 181, 182, 189].

В работах вышеперечисленных ученых, посвященных теоретическому и экспериментальному исследованию очистителей с гибкими упругими элементами, рассмотрены зависимости и приведены значения ряда

кинематических, конструктивных и технологических факторов, оказывающих определяющее значение на процесс очистки щеточными рабочими органами.

В своих теоретических работах Е.П. Попов [157] разработал точную теорию плоского изгиба упругих прямых и криволинейных стержней и создал на ее основе прикладные методы исследования тонких гибких деталей при больших упругих перемещениях. Автору удалось найти достаточно компактные общие формулы, которые являются едиными при сильном изгибе как прямых, так и криволинейных тонких деталей независимо от схем нагружения и наложенных связей.

В частности автор приводит точное уравнение упругого равновесия криволинейного стержня при плоском изгибе в виде:

$$x - x_i = \frac{M}{H} \quad (1.1)$$

где M – внутренний изгибающий момент в данном сечении стержня;

x и x_o – кривизны в данной точке, соответственно, упруго изогнутой продольной оси стержня и начального очертания его;

H – изгибная жесткость стержня.

Автором определено точное уравнение равновесия упругой линии изогнутого стержня в безразмерном виде:

$$l^2 \frac{d^2 \vartheta}{ds^2} = -\beta_c^2 \sin \xi_c - \beta_q^2 \sin \xi_q + \frac{ml^2}{H} + l^2 \frac{d^2 \Theta}{ds^2} \quad (1.2)$$

где l – длина стержня;

s – длина дуги упругой линии;

ν и Θ – углы наклона касательной в текущей точке, соответственно, упругой линии и начальной кривой;

m – приложенная к стержню моментная нагрузка;

β_c и β_q – условные коэффициенты, равные $\beta_c^2 = P_c \frac{l^2}{H}$ и $\beta_q^2 = P_q \frac{l^2}{H}$, где P_c, P_q

– силы, уравнивающие приложенные сосредоточенную и распределенную силовую нагрузку;

ξ_c, ξ_q – угловые коэффициенты, равные $\xi_c = \nu + \delta_c$ и $\xi_q = \nu + \delta_q$, где δ_c и δ_q – углы наклона оси X к векторам силы P_c и P_q .

Е.П. Поповым предлагаются также два метода расчета тонких гибких упругих деталей: метод упругих параметров и метод эллиптических параметров. Автором разработана методика определения размеров поперечного сечения плоских стержней, работающих в условиях поперечного и продольного изгибов, когда по заданному прогибу конца стержня, значению приложенной силы, длине стержня и допустимому напряжению изгиба определяются толщина полоски стержня, угол поворота конца и его горизонтальное смещение, изгибающий момент в заделке и внутренняя энергия изгиба.

Разработанный Е.П. Поповым метод упругих параметров может быть применен к любым задачам о плоском изгибе упругих гибких стержней, однако диаграммы упругих параметров составлены только для задач основного класса. Для задач, не сводящихся к основному классу, автор не дает никаких рекомендаций. В этом случае получаются системы уравнений, которые в элементарных функциях не решаются и могут быть решены только методом последовательных приближений.

В работе С.А. Найданова [140] предпринята попытка применения аналитического метода для решения задачи о силовом взаимодействии гладкого ворса щеточного очистителя с корнями сахарной свеклы (рисунок 1.13). Автором сформулированы основные требования, которым должны отвечать рабочие органы для механической (безводной) доочистки корней сахарной свеклы, а именно: копирование поверхности корнеплодов; вычищение почвы из канавок; очищение корней различных типоразмеров; минимальное травмирование корнеплодов в процессе очистки, а также основное условие осуществления процесса очистки:

$$N \geq \frac{\pi r_{\text{вд}} \tau_{\text{нв}} \left(\frac{Q_n}{c F_{\text{вд}} \sin \alpha} - r_{\text{вд}} \operatorname{tg} \alpha \right)}{f_1 - f_2} \quad (1.3)$$

где N – нормальная сила между щеточным рабочим органом и корнем;

r_{np} – радиус прутка;

τ_{cd} – удельное сопротивление почвы сдвигу ее по почве или по поверхности корня;

Q_n – сопротивление почвы внедрению прутка;

C – объемный коэффициент снятия почвы;

F_{np} – площадь сечения прутка;

A – угол при вершине деформированного прутка;

f_1 и f_2 – коэффициент трения скольжения, соответственно, щетки о почву и щетки о корень.

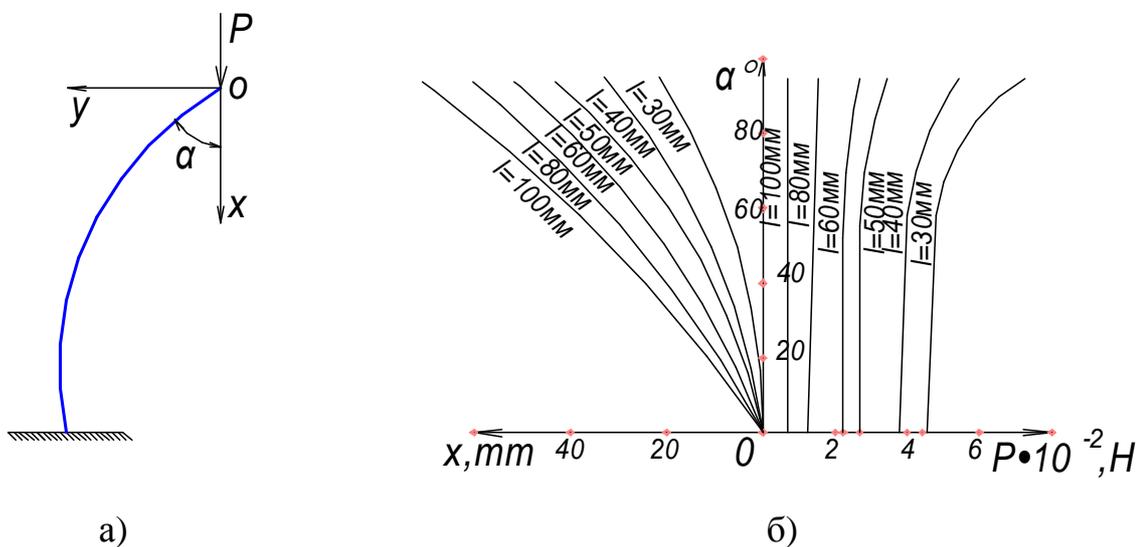


Рисунок 1.13 – Схема нагружения одиночного гладкого прутка сжимающей силой (а) и изменение его перемещения в вертикальном направлении (б) при различных значениях сжимающей силы P

Далее автор решает задачу об изгибе ворса, пользуясь методом С.П. Тимошенко, для определения деформаций гибких стержней [140] и находит перемещение гладкого прутка в горизонтальном (Y) и вертикальном (X) направлениях по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Y &= \frac{2l \sin(\alpha/2)}{K(p^2)} \\ X &= 2l \left[1 - \frac{E(p^2)}{K(p^2)} \right] \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

где l – длина гладкого прутка;

α – угол между касательной к упругой линии прутка на его конце и осью Ox (рис.1.13 а);

$K(p^2), E(p^2)$ – полный эллиптический интеграл Лежандра первого и второго рода в нормальной форме.

Путем решения дифференциального уравнения изогнутой оси прутка автор приходит к формуле для расчета опорной реакции упруго – деформированного гладкого прутка (нормального давления на поверхность очистки):

$$P_N = \frac{EI}{x^2} \left[\arccos \left(\frac{f_1 l_{i0} - f_1 x}{Y + f_1 l_{i0}} \right) \right]^2 + \Delta P_d \quad (1.5)$$

где: x – высота прутка в деформированном состоянии;

ΔP_d – динамическая поправка, учитывающая действие сил инерции (численное значение ΔP_d определялось автором экспериментально);

E, I – соответственно модуль упругости и момент инерции сечения прутка.

Полученные С.А. Найдановым аналитические зависимости пригодны для определения параметров гладкого щеточного ворса, жестко закрепленного на сердечнике щетки. Кроме того, автор при расчете опорной реакции упруго – деформированного прутка не учитывает распределенной силы собственного веса прутка и сил аэродинамического сопротивления.

Работа С.А. Ма [116] посвящена исследованию сухого трения при наличии разрывов и больших упругих деформаций в одном из трущихся тел. Автором разработана динамическая модель щеточного рабочего органа и определены основные соотношения трибоники щеточных рабочих органов. Введено понятие обобщенного угла кулонова трения, что позволило

использовать известный метод исследования движения и равновесия тел при наличии трения между ними, основанный на принципе конуса трения и, в том случае, когда одно из трущихся тел испытывает разрывы и большие упругие деформации. Разработанный автором метод позволил объяснить тот факт, что при экспериментальном определении коэффициента трения скольжения щетки о почву на корне его значения колебались от 1,4 до 1,6. Это объясняется действием сил упругости деформированных прутков, которые противодействуют скольжению по поверхности очистки и создают большее суммарное сопротивление, чем при скольжении корня по материалу прутка. Этот коэффициент можно назвать коэффициентом сопротивления движению, т.к. он складывается из собственно сил трения и сил упругости деформированных прутков. Аналитически его можно рассчитать по формуле [140, с. 19]:

$$f_1 = tg\varphi + \frac{3}{4} \sqrt{\frac{h}{2r_k}} \quad (1.6)$$

где $tg\varphi$ – коэффициент трения корней по материалу прутка;

h – величина радиальной деформации прутка;

r_k – радиус корнеплода в широкой части.

В работе [66] авторами В.М. Доманьковым, В.А. Агейчиком предпринята попытка решения многоплановой задачи сохранения жесткости бичей доочистителя корнеплодов ботвоуборочных машин, изготовленных из прорезиненной хлопчатобумажной ткани. Авторы рассматривают бич как тонкий гибкий стержень, находящийся под действием силы F (рисунок 1.14). Путем решения дифференциального уравнения упругой линии бича и с учетом того, что для прорезиненных хлопчатобумажных бичей принято отношение $R_{min}/\delta \geq 15$ [66, с. 56] авторы приходят к следующей системе выражений для параметров бича:

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= 2l[K(p^2) - E(p^2)]/K(p^2) \\ R &= l/[2pK(p^2)] \\ R_{\min} &\geq 15\delta \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

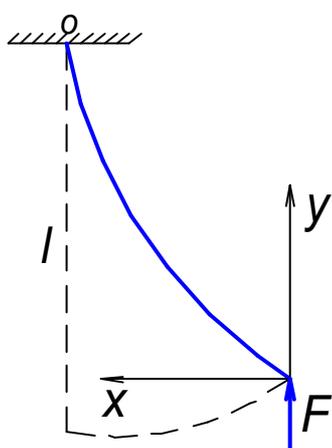
где Δ - вертикальная деформация бича;

l - свободная длина бича;

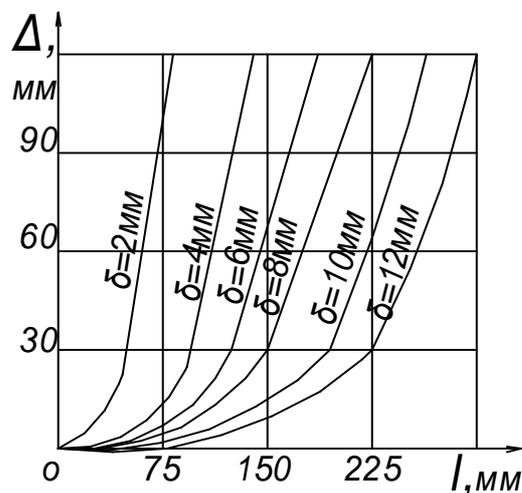
$K(p^2)$ и $E(p^2)$ – полные эллиптические интегралы Лежандра первого и второго рода в нормальной форме;

R_{\min} – наименьший радиус кривизны бича в точке А (где действует наибольший изгибающий момент);

δ - толщина бича.



а)



б)

Рисунок 1.14 – Схема нагружения единичного бича силой F (а) и зависимость вертикальной деформации (Δ) бича от его конструктивных параметров (толщины δ) (б)

Кривые на рисунке 1.14 б, построенные на основании (1.7), устанавливают взаимосвязь конструктивных параметров бичей (l и δ) с условиями их эксплуатации (Δ). Однако авторы при рассмотрении условий равновесия бича пренебрегают действием сил инерции и сил сопротивления среды, что снижает точность полученных ими результатов.

Известна работа А.В. Дервиша [174] в области применения щеточных рабочих органов для механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов. Экспериментальные исследования различных опытных очистителей, проведенные автором в хранилищах Истринского опытного хозяйства ВИЭСХ (Россия) в 1969 – 1970гг, показали, что нормируемая остаточная загрязненность сахарной свеклы с влажностью 12...20% достигается при использовании капроновых щеточных рабочих элементов.

Автор приводит условие сдвига прутком частиц налипшей почвы на поверхности корнеплода:

$$T_{np} \geq T_{cd} \frac{P_{np}}{cF_{np}} d_{np} \quad (1.8)$$

где T_{np} – сила касательного воздействия прутка, Н;

T_{cd} – сопротивление почвы сдвигу, Н/м²;

P_{np} – нормальное давление на поверхность очистки, Н/м²;

c – объемный коэффициент смятия почвы, Н/м²;

F_{np} – площадь боковой поверхности прутка, действующая на деформированный элемент почвы, м²;

d_{np} – диаметр прутка, м.

Для оценки щеточных рабочих органов в качестве показателя, характеризующего эффективность их действия А.В. Дервишем, принята работа упругих прутков, отнесенная к единице площади очистки:

$$A = \left[\frac{\pi^4 EI a^2}{64 L_{np}^3} + (T_{np} + P_{np} f_1) L_{ck} \right] \quad (1.9)$$

где a – прогиб прутка, м;

EI – жесткость прутка, Нсм²;

L_{np} и L_{ck} – длина прутка и длина пути его скольжения соответственно, м;

f_1 – коэффициент трения прутка о поверхность очистки.

Общее $i_{обв}$ и рабочее i_p число прутков на щетке автор определяет зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} i_{obw} &= \frac{4d_c L_w}{d_{np}^2} \eta_w \\ i_{pab} &= 0.0698 \frac{r_c L_w \alpha_{w.o}}{\pi d_{np}^2} \eta_w K_i \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

где d_c , r_c – соответственно диаметр и радиус сердечника щетки, м;
 η_w и K_i – соответственно коэффициент плотности навивки щетки и коэффициент, учитывающий фактическое число прутков при контакте с корнеплодами конусной формы;

$\alpha_{w.o}$ – угол охвата щетки;

L_w – длина цилиндрической щетки, м.

Мощность привода N щеточного рабочего органа и частоту $n_{щ}$ вращения щетки А.В. Дервиш определяет, исходя из оптимального режима работы очистителя:

$$\left. \begin{aligned} N_w &= \frac{i_{obw} n_w A K_i K_B}{6100 \eta K_N} \\ n_w &= \frac{60 v_w}{\pi D_w} \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

где K_B – опытный коэффициент ($K_B=1,14$), учитывающий аэродинамическое сопротивление вращению щетки при сплошном закреплении прутков;

K_N – опытный поправочный коэффициент;

η – к.п.д. передачи;

D_w , v_w – диаметр (в м) и окружная скорость вращения (м/с) щетки.

Экспериментальными исследованиями автор определил, что наилучшая степень отделения связанной почвы в разработанном барабанно-щеточном очистителе достигается при вращении корнеплодов с проскальзыванием относительно обрешетки грохота и их ориентировании продольной осью по длине грохота – эти условия удовлетворяются при окружной скорости щетки $v_w = 4,1 \dots 5,8$ м/с, грохота $v_g = 1,0 \dots 1,2$ м/с и коэффициенте его заполнения $\varphi = 0,4$.

Однако А.В. Дервишем не раскрыты преимущества щеточных рабочих органов перед традиционными (шнековыми, кулачковыми и т.д.), не сформулированы условия протекания процесса очистки, не проведен

обоснованный выбор параметров прутков и не увязана геометрия корней с параметрами прутков. Все это привело к тому, что примененная на очистке корнеплодов щетка большого диаметра не обеспечила удаление почвы из их канавок и эффект очистки оказался весьма невысок (50%).

В работе Д.И. Николаева [144] дано обоснование конструктивно – технологической схемы устройства для механической (безводной) очистки корнеклубнеплодов, состоящего из шнекового транспортера и симметрично расположенных цилиндрических вращающихся щеток.

Автор определяет необходимое количество щеток исходя из условия заполнения рабочего объема шнека:

$$n = \frac{\varphi'}{2 \arctg \frac{r_w}{R_{wn} + r_w}} + 1 \quad (1.12)$$

где φ' - угол охвата щеток (определяется коэффициентом заполнения μ , для корнеклубнеплодов $\mu = 0,2 \dots 0,3$), $\varphi' = 100 \dots 120^\circ$;

R_{wn} и r_w – соответственно радиус шнека и щетки.

Зону очистки корнеплодов Д.И. Николаев предлагает размещать симметрично относительно вертикальной оси шнека, т.е. количество щеток должно быть четным.

Рабочую длину щетки автор предлагает определять по формуле:

$$L_o = \frac{Q \cdot k}{0,125(D_{wn}^2 - d_{wn}^2) \rho \mu} \quad (1.13)$$

где Q – производительность устройства, кг/с;

ρ – плотность вороха корнеклубнеплодов, кг/м³;

k – количество оборотов, которое должен совершить корнеплод за время очистки;

D_{wn} и d_{wn} – диаметр шнека и диаметр вала шнека, м.

Однако автором не увязана геометрия цилиндрической щетки с геометрией корней различных типоразмеров, экспериментально не определено влияние вида ворса и его жесткости на степень очистки и величину угловых

перемещений прутков, не определен показатель технологической эффективности щеточного рабочего органа.

Как отмечает Л.М. Гусев [59, с.85], процесс движения ворса щеточного ротора имеет две фазы, отличающиеся наличием и отсутствием контакта ворса с очищаемой поверхностью. Для установления ряда конструктивных и кинематических параметров щеточного ротора необходимо знать основные характерные положения ворса в период его контакта (рисунок 1.15).

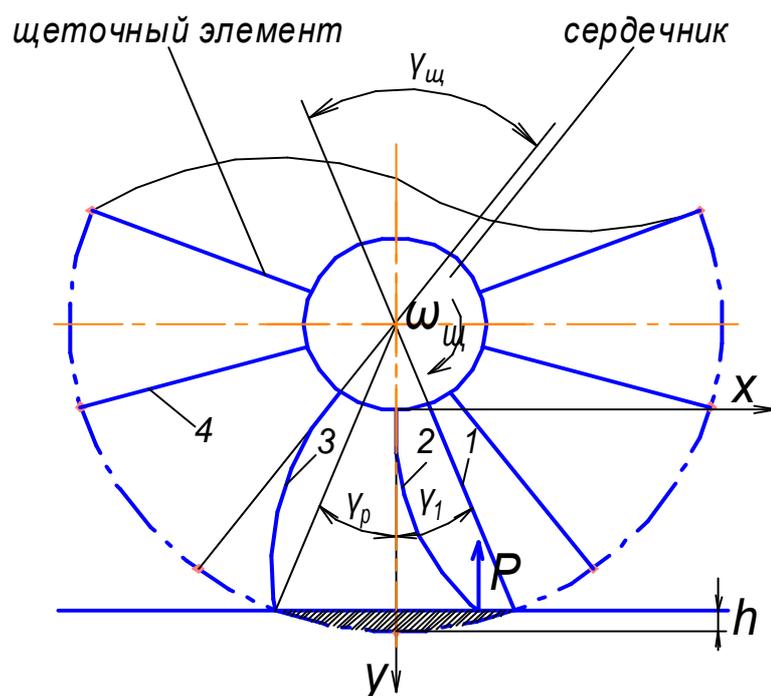


Рисунок 1.15 – Схема угловых перемещений ворсин цилиндрической щетки: 1 – начало контакта прутка с очищаемой поверхностью; 2 – рабочее положение прутка; 3 – конец контакта прутка; 4 – холостое положение прутка

Из рисунка 1.15 видим, что существуют три характерных положения прутков и три характерных угла (γ_1 – угол встречи ворсин с поверхностью очистки; γ_p – угол отклонения ворсин в момент выхода из соприкосновения с поверхностью очистки; $\gamma_{щ}$ – угол поворота щетки за время контакта каждой ворсины с очищаемой поверхностью), соотношение которых имеет существенное значение для анализа взаимодействия щетки с поверхностью очистки. Так, угол $\gamma_{щ}$ определяет ту часть ворса, которая находится в соприкосновении с очищаемой поверхностью, по величине угла γ_1 определяется

максимальная деформация прутков, а по величине угла γ_p – величина деформации прутка при его выходе из контакта с поверхностью.

В соответствии с экспериментальными исследованиями Л.М. Гусева [59, с. 101-107] по выявлению больших прогибов щеточного ворса можно считать, что кривая изгиба ворса имеет параболический характер и в период контакта ворса с очищаемой поверхностью ворс принимает различные по форме линии (рисунок 1.15), начиная от прямой, различного вида дуг парабол и кончая прямой линией. Кроме того автор отмечает, что ворс щеток выполняет очищающие функции в то время, когда его концы, соприкасающиеся с очищаемой поверхностью, составляют угол 90° или близкий к нему. В других случаях ворс скользит по этой поверхности и очистка либо совсем отсутствует, либо происходит весьма не интенсивно. Эта характерная особенность является основным недостатком щеточного ворса с гладкой поверхностью и прямолинейной формой, снижающей его копирующую способность и степень очистки.

В работе Ю.Н. Вальщикова [44, с. 75-90] освещены вопросы износа различных видов щеточного ворса, приведены значения трения скольжения для различных материалов и размеров его поперечного сечения. Экспериментальные исследования показали, что щетки из капронового ворса (диаметр 1,5...1,7 мм) служат в 4 раза дольше, чем из стальной высококачественной кардной проволоки. Как показала фотомикроскопия образца капронового ворса, износ происходит за счет расслоения и срезания микрочастиц ворса. В зоне контакта ворса с очищаемой поверхностью не возникает большой температуры за счет работы сил трения, которая бы оплавляла частицы материалов ворса и оказывала бы влияние на величину износа. Основными причинами малой долговечности ворса, по мнению Ю.Н. Вальщикова, являются: выламывание ворса в местах его жесткой заделки; перетирание ворса вследствие недостаточной прочности его заделки; наклеп материала проволоки в местах взаимного перекрещивания; ослабление сечения ворса вследствие коррозионного разрушения.

Чаще всего для ворса щеток подметально-уборочных машин в коммунальном хозяйстве [59, 132-134] применяют полиамиды – силоновые волокна, выпускаемые в некоторых странах под различными названиями – капрон (страны СНГ), перлон (Германия), нейлон (США) и др. Вследствие большой эластичности, элементы из синтетических материалов для щеток подметально-уборочных машин должен быть толщиной (диаметром) 2,5...4 мм. По данным исследований [44, 59, 132-134] износ очистительных элементов из капрона диаметром 3...3,5 мм в процессе работы происходит недостаточно интенсивно. С дальнейшим увеличением сечения элементов величина износа увеличивается. Поэтому для снижения износа следует уменьшать сечение рабочих элементов. Однако для эффективной очистки загрязненных поверхностей необходимо увеличивать частоту вращения ротора, а это в свою очередь, ведет также к повышенному износу, увеличению энергоемкости очистителя и снижению его долговечности.

Таким образом, анализ имеющихся в литературе результатов экспериментальных и теоретических исследований щеточных очистителей показал, что необходимы дополнительные исследования, связанные с определением основных параметров и режимов работы гофрощеточного очистителя со щеточным ворсом криволинейной формы с дополнительными эллиптическими утолщениями на дисках и разработкой методики его расчета.

Выводы

Кормовые корнеплоды, поступающие в обработку на животноводческие фермы, в технологические линии кормоцехов или на мобильные кормоприготовительные агрегаты, всегда загрязнены землей, песком, разными посторонними примесями, содержание которых, в зависимости от условий уборки и хранения, может достигать 20% и более к массе корней. Использование неочищенных от почвы кормовых корнеплодов ведет к желудочным заболеваниям сельскохозяйственных животных и резкому снижению продуктивности скота.

Существующие машины для гидромеханической очистки (мойки) энерго – и металлоемки и малопроизводительны при повышенной загрязненности кормовых корнеплодов. Таким образом, изыскание и создание более совершенных рабочих органов для очистки корнеплодов от загрязнений механическим (безводным) способом приобретает в настоящее время особое значение.

В этой связи **цель исследований** формулируется как повышение эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию путем разработки конструкции и определения рациональных конструктивно-технологических параметров гофрощеточного очистителя для механической (безводной) очистки и отделения кормовых корнеплодов от примесей.

Для достижения поставленной цели предусмотрим решение следующих **задач исследования:**

1) определить пути повышения эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию сельскохозяйственным животным и разработать конструктивно-технологическую схему гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов;

2) разработать математическую модель движения корнеплодов в рабочем объеме очистителя, позволяющую обосновать основные конструктивно-режимные параметры гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов;

3) экспериментально подтвердить результаты теоретических исследований и определить рациональные параметры предлагаемого устройства;

4) произвести проверку разработанного гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов в производственных условиях и оценить экономическую эффективность его применения.

Для решения указанных основных задач исследования нами выполнена проработка ряда более мелких и специфических вопросов теоретического и экспериментального характера в последующих главах настоящей диссертационной работы.

2 АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ

В результате анализа существующих конструкций очистителей и результатов их исследований можно сказать, что в настоящее время рабочий процесс гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов недостаточно изучен.

Назначение гофрощеточного очистителя для послеуборочной механической (безводной) очистки – отделение свободных примесей (камни, комки, растительные остатки), а также налипших на поверхности корнеплодов почвенных отдельностей и ботвы. Отделение корнеплодов от свободных примесей, в некоторой степени, аналогично очистным процессам, происходящим на барабанных, щеточных, шнековых, роликовых, пневмомеханических сепараторах, а также при грохочении горных пород, угля и породы, при сортировании зерна, семян и т.д. Сравнение с этими процессами показывает, что отделение (сепарация) свободных почвенных включений и растительных остатков в гофрощеточном очистителе затруднений представлять не будет. Основная же трудность при очистке состоит в отделении налипших с поверхностями корнеплодов почвенных отдельностей, которые являются наиболее трудноотделимыми компонентами конеклубнеплодного вороха. Поэтому конструктивные параметры очистителя следует выбирать исходя из обеспечения условий для отделения именно налипших примесей.

В связи с отсутствием основных аналитических зависимостей для теоретического расчета гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов рассмотрим перемещение единичного корнеплода по наружной наклонной цилиндрической вращающейся поверхности гофрощеточных барабанов, а также перемещение массы корнеплодов в рабочем объеме гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.

2.1 Перемещение единичного корнеплода по наружной поверхности наклонного вращающегося гофрощеточного барабана

Рассмотрим относительное движение единичного корнеплода (в форме полусфероконуса) радиусом r в широкой части по наружной поверхности вращающегося нижнего гофрощеточного барабана радиусом R (рисунок 2.1), наклоненного к горизонту под углом γ .

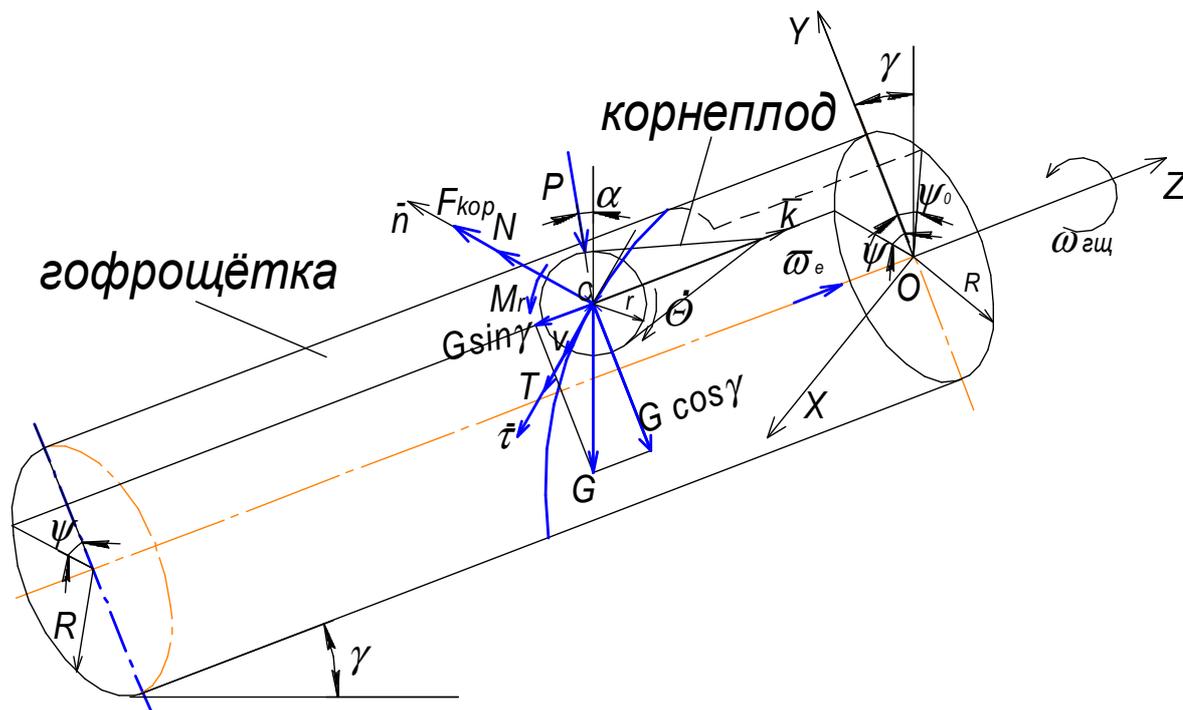


Рисунок 2.1 – Эквивалентная схема движения корнеплода по наружной поверхности наклонного вращающегося гофрощеточного барабана

Допустим, что начальная скорость корнеплода при попадании на поверхность нижнего барабана будет равна нулю, а окружная скорость барабана будет всегда больше окружной скорости движения корнеплода по ней. При этом на корнеплод при движении будут действовать следующие силы:

$G = mg$ - сила тяжести корнеплода;

N – нормальная реакция, направлена по нормали к траектории относительного движения тела по поверхности барабана;

$T = fN$ – сила трения скольжения корнеплода по поверхности барабана, если окружная скорость барабана больше окружной скорости корнеплода, то сила T направлена в сторону вращения барабана;

$F_{kor} = 2m \cdot \omega \cdot v_r \sin(\omega, v_r)$ - сила Кориолиса, направлена по нормали к траектории относительного движения корнеплода;

$P_n = (2^n - 1) \cdot \frac{mg}{2 \cos \alpha}$ - сила подпора вышележащих слоев корнеплодов [91], где n – количество вышележащих слоев корнеплодов; α – угол между линией, соединяющей центры корнеплодов и вертикалью ($\alpha = 30^\circ$);

$M_r = \delta \cdot N = r \cdot \operatorname{tg} \mu \cdot N$ - момент силы трения качения, где δ – коэффициент трения качения, μ – угол трения качения.

Введем абсолютную неподвижную систему координат $OXYZ$ (рис. 2.1) и запишем выражение для радиус-вектора в принятой системе координат z и ψ :

$$r = (\rho \sin \psi, \rho \cos \psi, z) \quad (2.1)$$

где ρ – радиальный параметр положения центра тяжести корнеплода относительно оси нижнего барабана, $\rho = R - \Delta R + r$, где ΔR – радиальная деформация гофрополосного ворса.

Применим также относительную систему координат, задаваемую ортами $\bar{\tau}, \bar{n}, \bar{k}$, жестко связанную с вращающимся барабаном. Продифференцировав выражение (2.1) по времени, получим выражение для абсолютной скорости движения корнеплода v_a :

$$\bar{r} = v_a = \rho \dot{\psi} \bar{\tau} + \dot{z} \bar{k} \quad (2.2)$$

Продифференцировав (2.2) по времени, получим выражение для абсолютного ускорения тела:

$$w_a = \rho \cdot \ddot{\psi} \cdot \bar{\tau} + \rho \cdot \dot{\psi} \cdot \dot{\bar{\tau}} + \ddot{z} \cdot \bar{k} + \dot{z} \cdot \dot{\bar{k}} \quad (2.3)$$

С учетом зависимости между ортами и их производными $\dot{\bar{\tau}} = \dot{\psi} \cdot \bar{n} = \omega \cdot \bar{n}$ и $\dot{\bar{k}} = 0$ получим следующее выражение для абсолютного ускорения тела:

$$\bar{w}_a = \rho \cdot \ddot{\psi} \cdot \bar{\tau} + \rho \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \bar{n} + \ddot{z} \cdot \bar{k} \quad (2.4)$$

Запишем основное уравнение динамики движения корнеплода по поверхности нижнего барабана в векторной форме:

$$m\bar{w}_a = \bar{G} + \bar{N} + \bar{T} + \bar{F}_{kor} + \bar{P} \quad (2.5)$$

Основное уравнение динамики движения корнеплода по поверхности нижнего барабана в цилиндрических координатах имеет вид [46, 92, 192]:

$$\left. \begin{aligned} m\rho\ddot{\psi} &= mg \cos \gamma \sin \psi + P(\cos \alpha \cos \gamma \sin \psi + \sin \alpha \cos \psi) + fN \frac{\rho(\dot{\psi} - \omega)}{\sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \\ m\rho\dot{\psi}^2 &= P(\sin \alpha \sin \psi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi) - N - 2m\omega\sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2} \cdot \sin \gamma + mg \cos \gamma \cos \psi \\ m\ddot{z} &= mg \sin \gamma + P \cos \alpha \sin \gamma - fN \frac{\dot{z}}{\sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \end{aligned} \right\} (2.6)$$

Кроме того, запишем дифференциальное уравнение вращательного движения корнеплода вокруг собственной оси вращения:

$$J\ddot{\Theta} = Tr - M_r = (fr - \delta) \cdot N \quad (2.7)$$

где J – момент инерции корнеплода относительно центральной оси, для корнеплода в форме полусфероконуса $J = \frac{mr^2(3l_k + 8r)}{10(l_k + 2r)}$, где l_k – длина конусной части корнеплода [52].

Из системы уравнений (2.6) найдем выражение для определения нормальной реакции N (приложение Г):

$$N = \frac{P(\sin \alpha \sin \psi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi) + 2m\omega \sin \gamma \sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2} - mg \cos \gamma \cos \psi}{1 - \lambda \sqrt{\rho^2 \dot{\psi}^2 + \dot{z}^2}} \quad (2.8)$$

С учетом (2.8) получим следующую систему дифференциальных уравнений (2.9) движения корнеплода по наружной поверхности вращающегося гофрощеточного барабана, имеющего наклон к горизонту. Система уравнений (2.9) описывает движение корнеплода в форме полусфероконуса в рабочем объеме гофрощеточного очистителя. В связи со значительной нелинейностью данной системы ее интегрирование выполнено численным методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности с помощью

встроенных функций математического калькуляционного пакета MathCAD Professional 2001 на ПК [118].

$$\begin{aligned}
 \ddot{\psi} = & 0,5 \left[\frac{g}{\rho} \cos \gamma \sin \psi + \frac{P}{m\rho} (\cos \alpha \cos \gamma \sin \psi + \sin \alpha \cos \psi) + \lambda \sqrt{\rho^2 \dot{\psi}^2 + \dot{z}^2} \dot{\psi} + \right. \\
 & + \frac{f(\dot{\psi} - \omega)}{m \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \left[P(\sin \alpha \sin \psi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi) + 2m\omega \sin \gamma \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2} - \right. \\
 & \left. \left. - mg \cos \gamma \cos \psi \right] - \sqrt{\left[\frac{g}{\rho} \cos \gamma \sin \psi + \frac{P}{m\rho} (\cos \alpha \cos \gamma \sin \psi + \sin \alpha \cos \psi) + \lambda \sqrt{\rho^2 \dot{\psi}^2 + \dot{z}^2} \dot{\psi} + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{f(\dot{\psi} - \omega)}{m \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \left[P(\sin \alpha \sin \psi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi) + 2m\omega \sin \gamma \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2} - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. - mg \cos \gamma \cos \psi \right] \right]^2 - 4 \left[\lambda \sqrt{\rho^2 \dot{\psi}^2 + \dot{z}^2} \dot{\psi} \left(\frac{g}{\rho} \cos \gamma \sin \psi + \frac{P}{m\rho} (\cos \alpha \cos \gamma \sin \psi + \sin \alpha \cos \psi) \right) - \right. \\
 & \left. - \frac{f(\dot{\psi} - \omega) \dot{\psi}}{\rho \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \right]; \\
 \ddot{z} = & \frac{\left(g \sin \gamma + \frac{P}{m} \cos \alpha \sin \gamma \right) \left(1 - \lambda \sqrt{\rho^2 \dot{\psi}^2 + \dot{z}^2} \right) - \frac{f \ddot{z}}{m \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \left[P(\sin \alpha \sin \psi - \right. \\
 & \left. - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi) + 2m\omega \sin \gamma \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2} - mg \cos \gamma \cos \psi \right]}{1 - \lambda \sqrt{\rho^2 \dot{\psi}^2 + \dot{z}^2} +} \\
 & \left. + \frac{f \ddot{z}^2}{\rho \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \right]; \\
 \ddot{\Theta} = & \frac{10(fr - \delta)(l_k + 2r)}{mr^2(3l_k + 8r)} \left[\frac{P(\sin \alpha \sin \psi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi) + 2m\omega \sin \gamma \sqrt{\rho^2 (\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2} - \right. \\
 & \left. - mg \cos \gamma \cos \psi \right]
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

Данный метод является более совершенным и позволяет при меньшем объеме вычислений получать более точный результат [159, с. 144]. При сравнении результатов расчета скоростей и перемещений корнеплода с шагами интегрирования $h = 100$ и $h = 50$ погрешность метода составила не более 7%. При численном интегрировании математической модели (2.9) в пакете MathCAD (приложение Г) примем постоянными величины: угловая скорость барабана $\omega = 20,93 \text{ с}^{-1}$, масса корнеплода $m = 2 \text{ кг}$, коэффициент сопротивления движению $f = 1,49$, угол наклона барабанов к горизонту $\gamma = 3^\circ$, сила давления от веса вышележащих корнеплодов $P = 79 \text{ Н}$, радиальный параметр $\rho = 0,25$, параметр $\lambda = 16,6$ со следующими начальными условиями:

угол контакта корнеплода с барабаном $\psi_0 = -0,5236$ рад, угловая скорость корнеплода $\dot{\psi}_0 = 0,01 \text{ с}^{-1}$, путь корнеплода $z_0 = 0,01$ м, линейная скорость $\dot{z}_0 = 0$ м/с. По полученным данным построен график изменения угловой ω и линейной v скорости движения, а также перемещения s корнеплода вдоль барабана (рисунок 2.2).

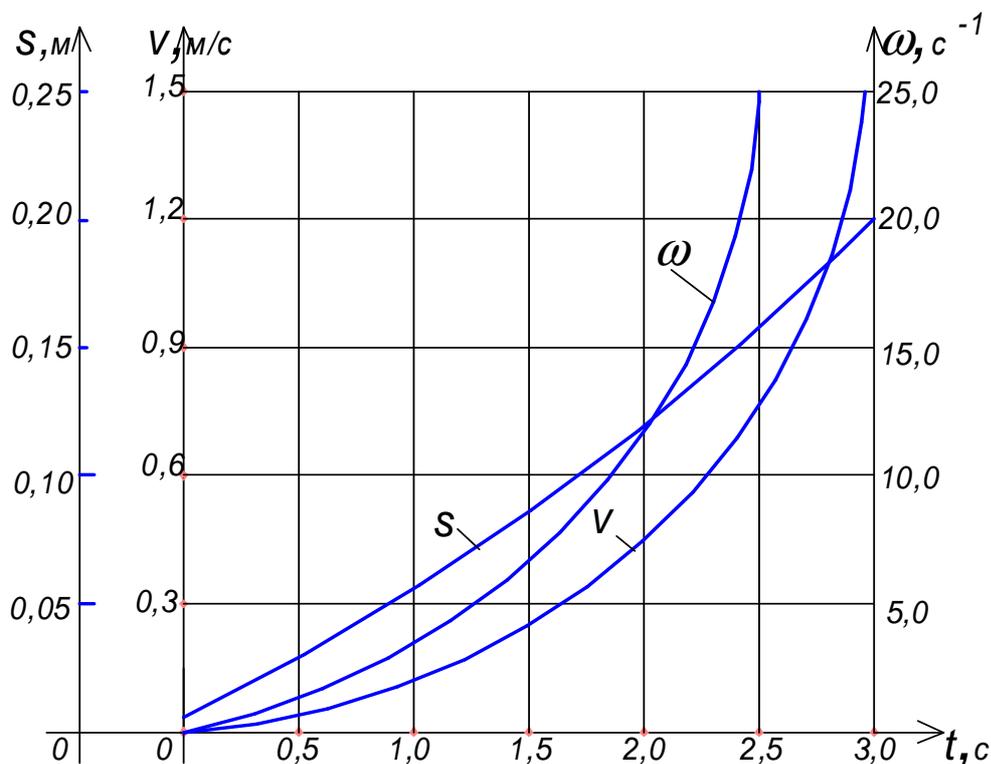


Рисунок 2.2 – График изменения угловой ω , линейной v скорости движения и перемещения s корнеплода вдоль гофрощеточного барабана

Как показывают полученные графики, на протяжении всего времени контакта линейная скорость движения и путь, пройденный корнеплодом от начала отсчета, вдоль гофрощеточного барабана, монотонно возрастают. Угловая скорость перемещения $\omega = f(t)$ изменяется по экспоненциальной зависимости, достигая максимальных значений после $t = 1,8$ с (при постоянной угловой скорости вращения барабана $\omega = 20,93 \text{ с}^{-1}$). В момент, когда угловая скорость движения корнеплода становится больше угловой скорости барабана ($t = 1,8 \dots 2,4$ с), тело отрывается (покидает) рабочую поверхность. Наибольшее влияние на угловую скорость движения и угол

отрыва корнеплода оказывает угловая скорость вращения барабанов. На линейную скорость перемещения корнеплода и пройденный путь оказывает наибольшее влияние угол наклона гофрощеточных барабанов к горизонту.

Силу трения скольжения корнеплода по поверхности гофрощеточного барабана, с учетом (2.7) и (2.8), определим по формуле (приложение Г):

$$T = \frac{f(\rho(\dot{\psi} - \omega) + \dot{z})}{\sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \left[\frac{P(\sin \alpha \sin \psi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi) +}{1 - \lambda \sqrt{\rho^2 \dot{\psi}^2 + \dot{z}^2}} + \frac{2m\omega \sin \gamma \sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2} - mg \cos \gamma \cos \psi}{\sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \right] \quad (2.10)$$

Процесс механической (безводной) очистки корнеплодов гофрощеточным очистителем осуществляется вследствие их контакта с гофрированными криволинейными полосками «пильчатого профиля», шарнирно закрепленных на сердечнике барабана. При этом за счет принудительного вращательного движения рабочих элементов барабанов и поступательно-вращательного перемещения корнеплодов вдоль их наклонной ротационной поверхности осуществляется копирование неровностей корнеплодов выступами гофрополосок и счесывание налипших примесей (налипшей почвы и растительных остатков). Схема взаимодействия единичного корнеплода с нижним гофрощеточным барабаном и заслонкой представлена на рисунке 2.3.

Для осуществления процесса очистки рабочими элементами гофрощеточного очистителя необходимо выполнение следующих условий: во-первых, наличие достаточной для счесывания и отделения налипших почвенных отдельностей нормальной силы N (2.8), т.к. именно она обеспечивает возникновение полезной силы трения (счесывания) T . Во-вторых, полезная сила счесывания T (2.10) должна быть больше составляющих сил связи почвы с поверхностью корнеплода или сил внутреннего трения почвы в случае послойного ее удаления с поверхности очищаемых корнеплодов. В-третьих, гофрополосный ворс барабанов должен

быть упругодеформированным и обладать достаточной потенциальной и кинетической энергией [99, 140, 141, 157].

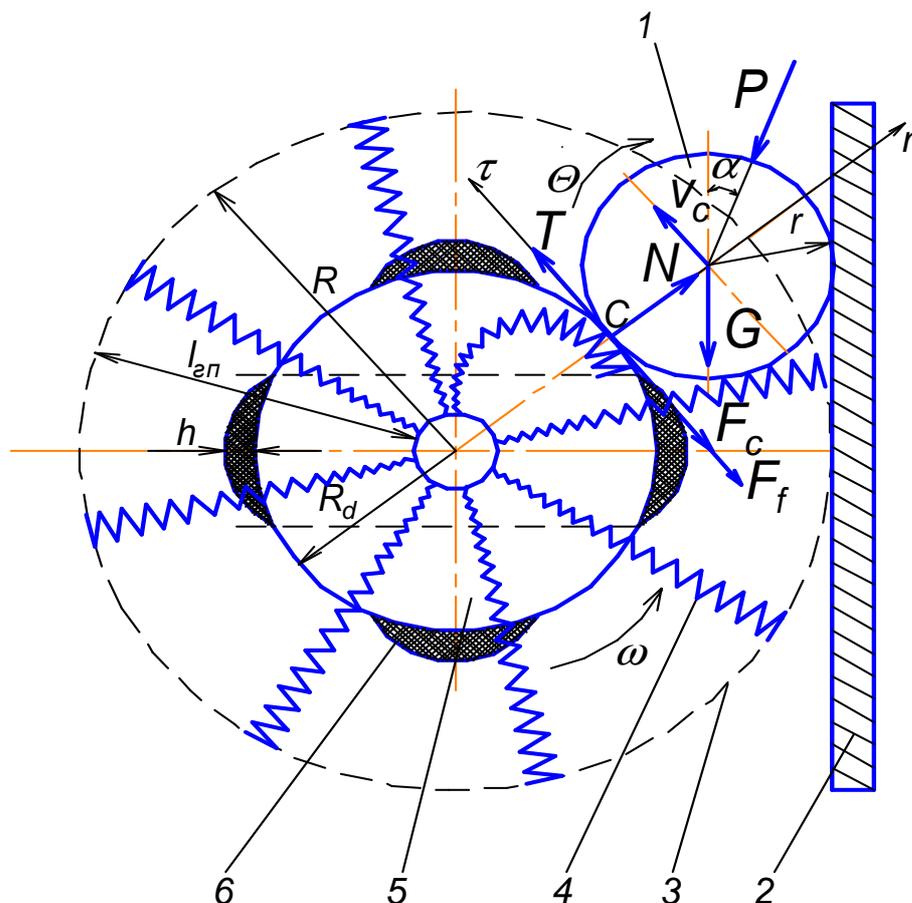


Рисунок 2.3 – Схема взаимодействия корнеплода с нижним гофрощеточным барабаном: 1 – корнеплод; 2 – заслонка; 3 – гофрощеточный барабан; 4 – гофрированная полоска; 5 – эластичный диск; 6 – эллиптические утолщения

Основное условие осуществления процесса очистки имеет вид:

$$T \geq F_c + F_f \quad (2.11)$$

где F_c – сила сопротивления почвы сдвигу, определяется зависимостью $F_c = \tau_c \cdot S_2$, где τ_c – сопротивление почвы сдвигу ее по почве или по поверхности корнеплода; S_2 – площадь наружной поверхности очистного гофра единичной полоски, определяется зависимостью $S_2 = \pi r_0 b \left(1 + \frac{bc}{q_n \cos \frac{\gamma_0}{2}}\right)$, где b – ширина гофрополоски; r_0 – радиус

скругления вершин гофр полосы; γ_0 – угол при вершине гофра полосы; c – объемный коэффициент смятия почвы; q_n – сопротивление почвы внедрению гофра полосы;

F_f – сила сопротивления скольжению гофр полосок по поверхности очистки, определяется зависимостью $F_f = N \cdot f_2$, где f_2 – коэффициент трения скольжения гофрополос о почву на корнеплодах, в случае послойного удаления почвы вместо f_2 используем коэффициент f_3 внутреннего трения почвы, связанной с корнеплодом.

Тогда условие осуществления процесса очистки (2.11), с учетом (2.8) и (2.10), примет вид:

$$\frac{f(\rho(\dot{\psi} - \omega) + \dot{z})}{\sqrt{\rho^2(\dot{\psi} - \omega)^2 + \dot{z}^2}} \cdot N \geq \frac{\tau_c \pi_0 b (1 + \frac{b \cdot c}{q_n \cos \frac{\gamma_0}{2}})}{f_1 - f_2} \quad (2.12)$$

Проверка выполнения условий осуществления очистки (2.12), а также влияния конструктивных и кинематических параметров гофрополосного ворса на эффективность механической (безводной) очистки выполнена в разделе 4 настоящей работы.

Таким образом, полезная сила счесывания T , в наибольшей степени, зависит от веса вышележащих слоев корнеплодов, конструктивных особенностей гофрополосного криволинейного ворса «пильчатого» профиля и его угловой скорости вращения. Угловая скорость вращения гофрополосного ворса, с точки зрения осуществления процесса очистки, также должна удовлетворять условию:

$$\omega_{min} \leq \omega < \omega_{max} \quad (2.13)$$

где ω_{min} – минимальная угловая скорость вращения гофрополосного ворса, необходимая для поддержания его в рабочем упругодеформированном положении и начала отделения примесей, определяется зависимостью $\omega_{min} = \frac{v_{Cmin}}{R}$, где v_{Cmin} – минимальная скорость разрушения налипших почвенных отдельностей гофрополосным ворсом (определяется

экспериментальным путем), R – радиус гофрополосного барабана (рисунок 2.3);

ω_{max} – максимальная угловая скорость вращения гофрополосного ворса, определяемая из зависимости (2.8) при равенстве $N = 0$ (приложение Г):

$$\omega \omega_{max} = 0,5 \left[\dot{\psi} - \frac{\dot{z}}{\rho} + \sqrt{\left(\frac{\dot{z}}{\rho} - \dot{\psi} \right)^2 - \frac{2[mg \cos \gamma \cos \psi - P(\sin \alpha \sin \psi - \cos \alpha \cos \gamma \cos \psi)]}{m \sin \gamma \rho}} \right] \quad (2.14)$$

Зависимость нормальной силы N и полезной силы счесывания T , действующей на очищаемые корнеплоды, от угловой скорости вращения гофрополосного ворса представлена на рисунке 2.4.

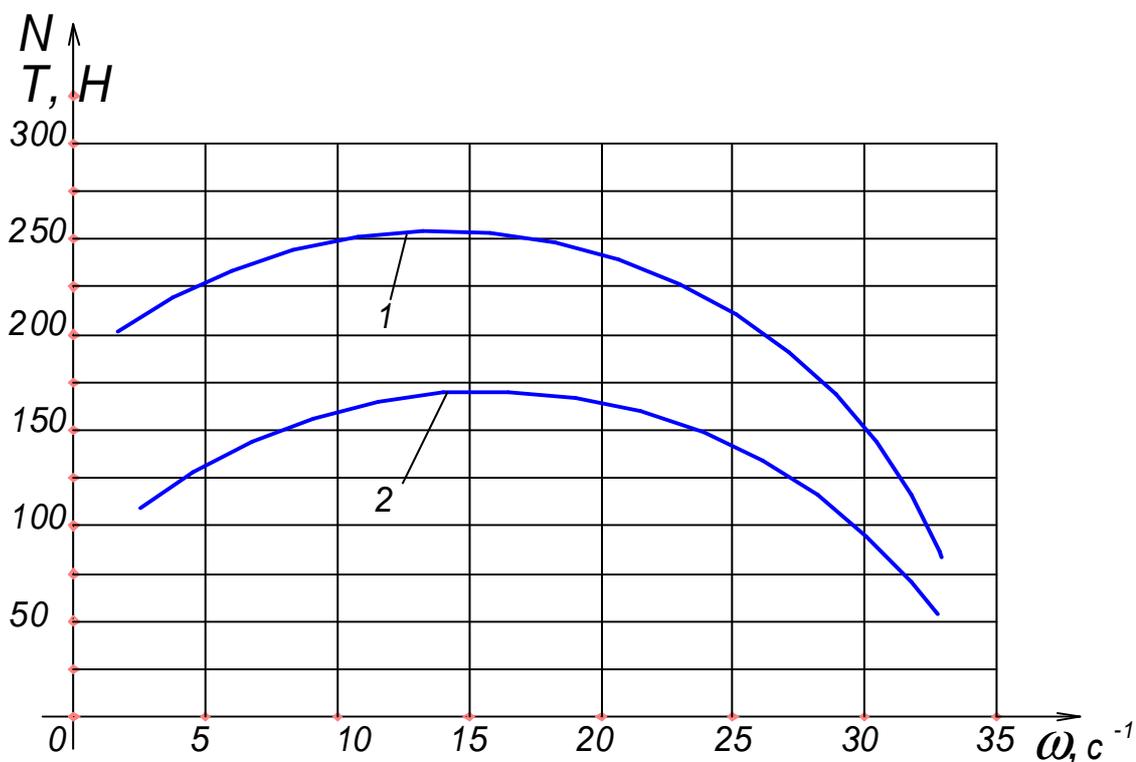


Рисунок 2.4 – Зависимость силы счесывания T (1) и нормальной реакции N (2) от угловой скорости вращения гофрополосного ворса

Из анализа зависимости (2.14) и графика на рисунке 2.4 видим, что с увеличением частоты вращения гофрощеточных барабанов увеличивается действие центробежных сил на гофрополосный ворс и корнеплоды, что ведет к снижению величины нормальной реакции и полезной силы счесывания, действующей на очищаемые поверхности. С ростом угловой скорости

вращения барабанов уменьшается время их контакта с корнеплодами и увеличивается окружная ψ и осевая z скорость прохождения очищаемых корнеплодов по ним. С увеличением количества одновременно обрабатываемых корнеплодов угловую скорость вращения гофрополосного ворса барабанов также необходимо увеличивать.

2.2 Перемещение массы корнеплодов в рабочем объеме очистителя и определение его производительности

По данным экспериментально-теоретических исследований [83-100, 140, 141] и анализа движения массы корнеплодов внутри рабочего объема гофрощеточного очистителя установлено, что наибольшая эффективность очистки, при незначительном расходе энергии на привод, достигается тогда, когда частота вращения барабанов находится в диапазоне от 10 до 40 с^{-1} ($\omega_{min} \leq \omega < \omega_{max}$). В этом случае подаваемые на очистку корнеплоды попадают на вращающиеся гофрированные барабаны и регулирующую заслонку, установленные наклонно. Слой корнеплодов, прилегающий к поверхности нижних барабанов (рисунок 2.5), начинает совершать циклическое движение: увлекается ими от центра к краям, далее подхватываются боковыми (верхними) барабанами до выхода из-под верхних слоев и поднимаются на некоторый угол до отражателей, а затем скатывается вниз, интенсивно перетираясь. Нижний контактный слой корнеплодов при своем движении в сторону вращения барабанов увлекает второй слой, второй увлекает третий и т.д. Вращающиеся диски с эллиптическими утолщениями создают дополнительное динамическое воздействие на корнеклубнеплоды, перемещая их в радиальном направлении. За счет ударов дисков с утолщениями и трения корнеплодов о вращающиеся гофрированные полосы криволинейной формы пильчатого профиля, диски и обрезиненные заслонки, обеспечивается активный динамический контакт корнеплодов с барабанами, благодаря чему связанная с корнеклубнеплодами почва переходит в разряд

свободной и, вместе с другими загрязнениями, просеивается через зазоры между гофрощеточными барабанами. При таком режиме работы достигается наилучшее перемешивание и трение корнеплодов как друг о друга, так и о гофрополосную поверхность барабанов, что приводит к повышению эффективности очистки и достижению заданной производительности устройства [88, 92].

Теоретическую производительность гофрощеточного очистителя корнеплодов определяем следующей зависимостью:

$$M = k_0 \cdot \rho \cdot \varphi \cdot v_l \cdot S_p \quad (2.15)$$

где k_0 – коэффициент, учитывающий изменение площади сечения обрабатываемого материала вследствие наклона очистителя к горизонту, определяется экспериментальным путем;

ρ – плотность обрабатываемых корнеплодов, кг/м³;

φ – коэффициент заполнения рабочего объема очистителя, для разрабатываемой нами конструкции примем $\varphi = 0,3 \dots 0,5$;

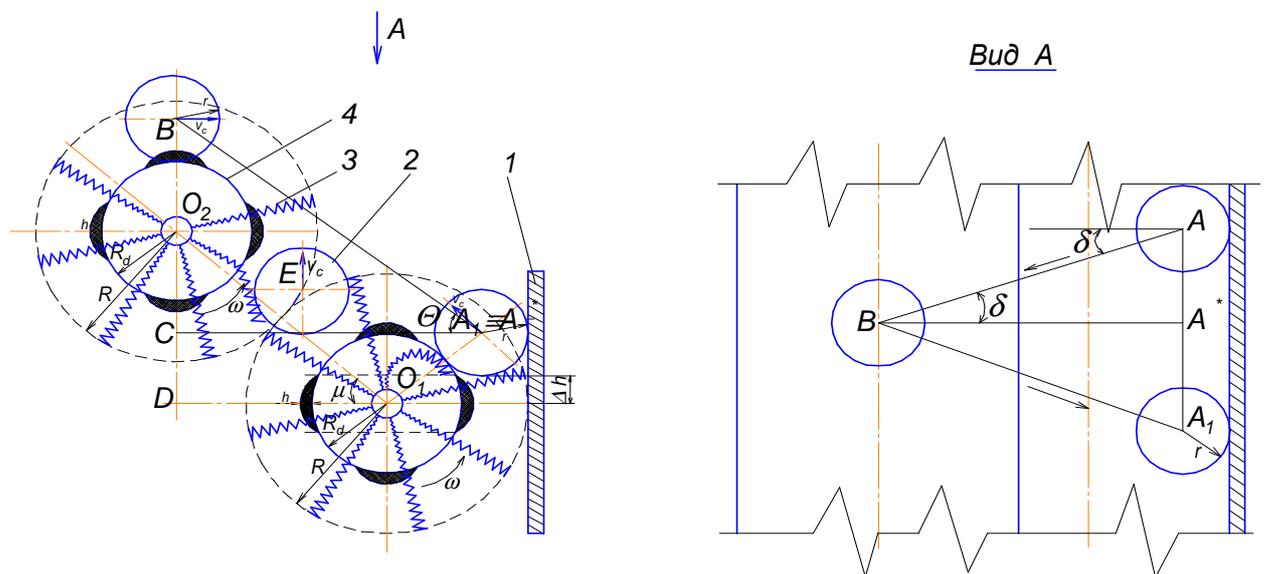


Рисунок 2.5 – Схема к определению осевой скорости перемещения корнеплода в рабочем объеме очистителя: 1 – заслонка; 2 – корнеплод; 3 – барабан; 4 – диск барабана с утолщениями

v_l – осевая скорость движения корнеплодов в рабочем объеме очистителя (рисунок 2.5), м/с;

S_p – площадь переменного сечения рабочего объема очистителя (рисунок 2.6), м².

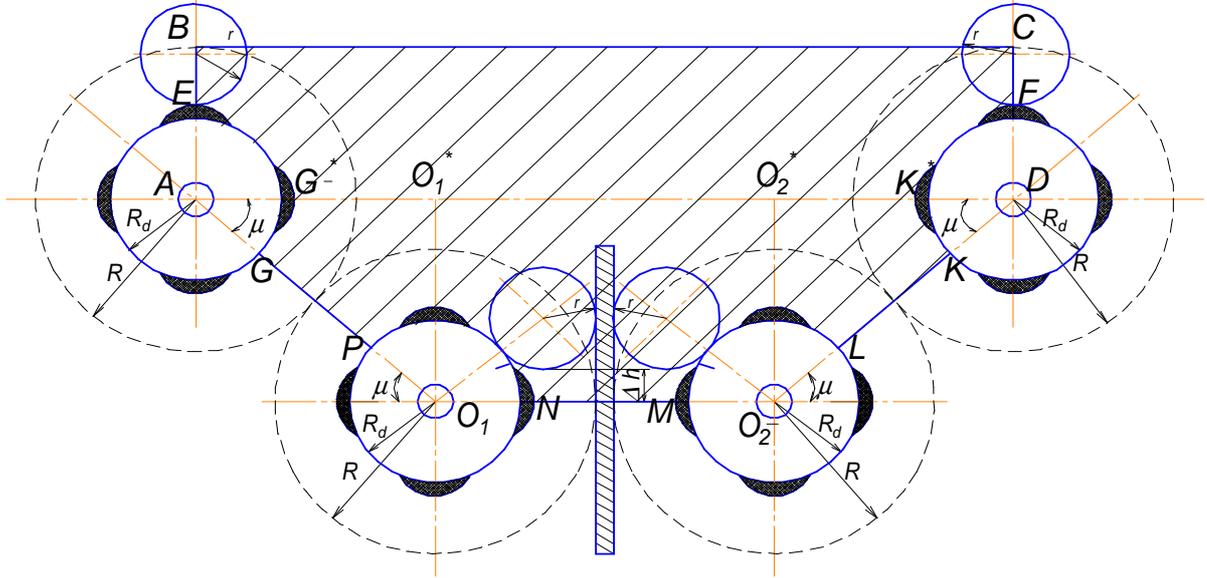


Рисунок 2.6 – Схема к определению площади сечения рабочего объема очистителя S_C

Из схемы на рисунке 2.5 имеем соотношения: $CD=r+\Delta h$, $BC=R_{rb}(2\sin\mu+1)-\Delta h$, $BA^* = \frac{R_{rb}(2\sin\mu+1)-\Delta h}{\sin\Theta}$, $AA_1 = \frac{2tg\delta[R_{rb}(2\sin\mu+1)-\Delta h]}{\sin\Theta}$,

$BA_1 = \frac{R_{rb}(2\sin\mu+1)-\Delta h}{\sin\Theta \cdot \cos\gamma}$ и время скатывания $t_c = \sqrt{\frac{2[R_{rb}(2\sin\mu+1)-\Delta h]}{g \sin\Theta \cos\gamma}}$. Тогда

осевую скорость перемещения корнеплода в рабочем объеме очистителя можно определить по формуле:

$$v_l = \frac{2tg\gamma[R_{rb}(2\sin\mu+1)-\Delta h] \cdot \sqrt{g \sin\Theta \cos\gamma} \cdot k_1}{\sqrt{2[R_{rb}(2\sin\mu+1)-\Delta h]} \cdot \sin\Theta} \quad (2.16)$$

где Δh – глубина впадины между гофрощеточным барабаном и заслонкой, ограничивающая размер непроходной фракции корнеплодов, можно принять для кормовой свеклы $\Delta h = 0,08 \dots 0,1$ м [144]; δ – угол подъема-опускания корнеплода – при обычных на практике малых углах

наклона угол δ может быть принят равным углу наклона барабанов к горизонту γ ;

Θ – угол естественного откоса корнеплодов, для корнеплодов кормовой свеклы $\Theta = 27...29^\circ$ [115, 127, 167]; k_I – коэффициент, учитывающий взаимное соотношение составляющих времени одного цикла подъема-опускания корнеплода. Путем численного решения системы дифференциальных уравнений (2.9) определена величина коэффициента $k_I = 0,11...0,16$.

Из схемы на рисунке 2.6 имеем соотношения: $S_C = S_{EBCFKLMNPG}$,

$S_{EBCFKLMNPG} = S_{ABCD} - 2S_{AEG^*} + S_{ADO_2O_1} - 2S_{O_1PN} - 2S_{AGG^*}$. С учетом геометрических характеристик барабанов, площадь сечения рабочего объема очистителя S_C равна:

$$S_C = 4R^2[\cos \mu + \sin \mu(\cos \mu + 1) + 0,5] - \frac{3}{2}\pi R_d^2 \quad (2.17)$$

где: R – радиус барабана; R_d – радиус диска барабана; μ – угол подъема боковых барабанов. Зависимость площади сечения рабочего объема очистителя от геометрических характеристик барабанов представлена на рисунке 2.7.

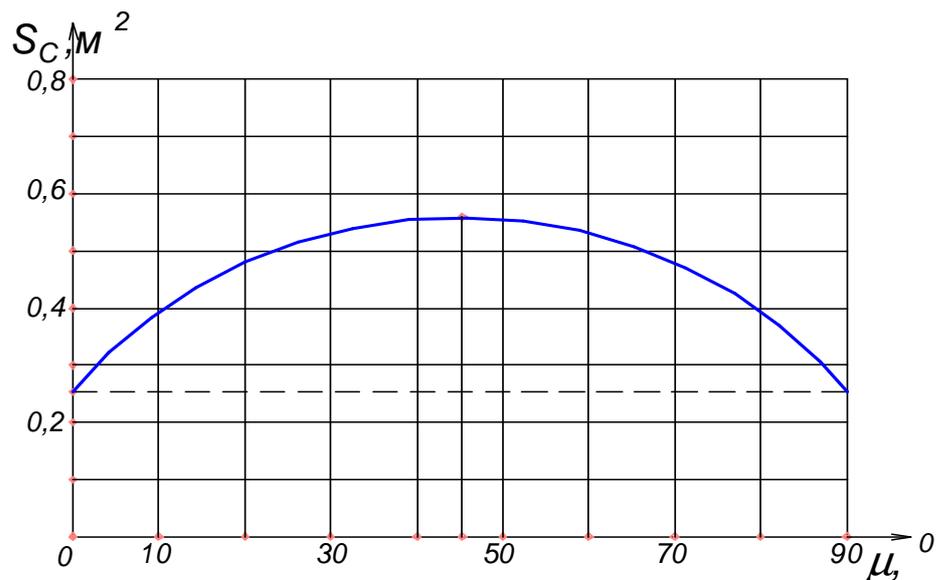


Рисунок 2.7 – Зависимость площади сечения рабочего объема очистителя от угла подъема боковых барабанов

Из анализа зависимости (2.17) и рисунка 2.7 следует, что площадь поперечного сечения рабочего объема гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов зависит от геометрических характеристик рабочих органов: с увеличением диаметра барабанов площадь сечения S_C увеличивается, пропускная способность устройства также будет увеличиваться, с увеличением диаметра дисков площадь сечения S_C уменьшается. С увеличением угла подъема боковых барабанов от $\mu = 0^\circ$ до $\mu = 40^\circ$ площадь сечения S_C увеличивается, а с изменением угла от $\mu = 50^\circ$ до $\mu = 90^\circ$ площадь сечения S_C будет уменьшаться. Для обеспечения максимальной пропускной способности устройства угол подъема боковых барабанов должен быть $\mu = 40...50^\circ$.

Тогда теоретическую производительность гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов, с учетом зависимостей (2.15...2.17) можно определить по формуле:

$$M = \frac{8k_o k_1 \varphi \rho t g \gamma [R(2 \sin \mu + 1) - \Delta h] \cdot \left[R[\cos \mu + \sin \mu(\cos \mu + 1) + 1] - \frac{3}{8} \pi R_d^2 \right]}{\sin \Theta \cdot \sqrt{\frac{2[R(2 \sin \mu + 1) - \Delta h]}{g \sin \Theta \cos \gamma}}} \quad (2.18)$$

Из анализа (2.18) видим, что на производительность очистителя влияют угол его наклона к горизонту и угол подъема боковых барабанов (рисунок 2.8), скорость продвижения корнеплодов в рабочем объеме, геометрические характеристики барабанов. Коэффициент заполнения рабочего объема φ прямо пропорционален изменению производительности, но т.к. основным показателем работы очистителя является качество очистки от поверхностных загрязнений, то оптимальное заполнение рабочего объема следует выбирать исходя из этого условия. При малом заполнении рабочего объема не будет должного перетирания корнеплодов друг с другом, что снизит эффективность очистки. При значительном заполнении рабочего объема отделившиеся примеси с верхних слоев корнеплодов будут оседать на нижних и не будут успевать просеиваться через гофрированные щетки.

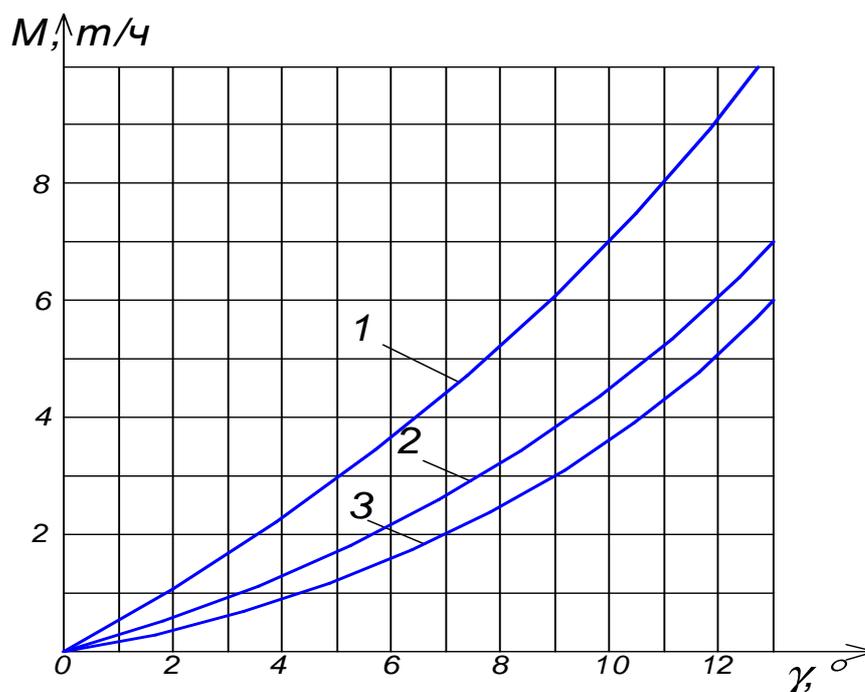


Рисунок 2.8 – Зависимость теоретической производительности очистителя от угла его наклона к горизонту γ и угла подъема боковых барабанов μ : 1 – $\mu = 45^\circ$; 2 – $\mu = 70^\circ$; 3 – $\mu = 30^\circ$

По данным ученых [49, 73, 103, 153], исследовавших барабанные очистители корнеплодов, наилучшим заполнением рабочего объема очистителя следует считать загрузку корнеплодов в три слоя при заполнении 1/3 части его объема.

2.3 Определение основных конструктивных параметров рабочих органов очистителя

Основными конструктивными параметрами рабочих органов очистителя следует считать длину L и диаметр D гофрощеточных барабанов, диаметр D_d и шаг t_d расположения опорных дисков по длине барабанов, а также величину зазора c_d между дисками барабанов и заслонкой и высоту эллиптических утолщений h на них.

Теоретически необходимое время τ пребывания корнеплодов в рабочем объеме очистителя определяется следующим выражением $\tau = L/v_l$. Тогда длина гофрощеточных барабанов L , с учетом (2.16), будет равна:

$$L = \frac{2 \cdot \tau \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot [R(2 \sin \mu + 1) - \Delta h] \cdot \sqrt{g \cdot \sin \Theta \cdot \cos \gamma}}{k_1 \cdot \sin \Theta \cdot \sqrt{2[R(2 \sin \mu + 1) - \Delta h]}} \quad (2.19)$$

Теоретическую длину гофрощеточных барабанов можно также определить из выражения (2.18):

$$L = \frac{M \cdot \tau}{4k_o \cdot \varphi \cdot \rho \cdot \left[R^2 (\cos \mu + \sin \mu (\cos \mu + 1) + 1) - \frac{3}{8} \pi \cdot R_d^2 \right]} \quad (2.20)$$

где k_o – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона очистителя γ на величину S_c и определяемый экспериментальным путем.

При подсчете теоретически необходимой длины гофрощеточных барабанов очистителя по формулам (2.19) и (2.20) расхождения в результатах незначительны и не превышают 5...7%. График зависимости длины барабанов очистителя от времени обработки корнеплодов представлен на рисунке 2.9.

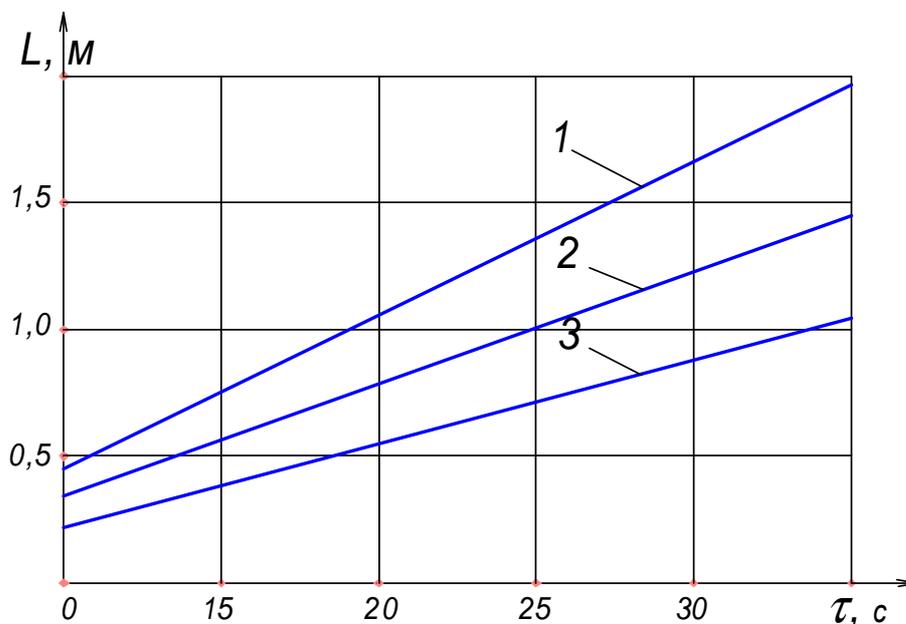


Рисунок 2.9 – График зависимости необходимой длины гофрощеточных барабанов от продолжительности обработки корнеклубнеплодов: 1 – $R = 0,15$ м; 2 – $R = 0,25$ м; 3 – $R = 0,35$ м

Согласно предварительно проведенным исследованиям [90, 93, 174], необходимое время обработки корнеплодов кормовой свеклы в щеточных очистителях составляет $\tau = 20 \dots 30$ с. Ориентируясь на такую продолжительность обработки, длину барабанов очистителя следует выбирать $L = 0,75 \dots 1,5$ м (рисунок 2.9). Окончательный же выбор рациональной длины барабанов очистителя и продолжительности обработки должен уточняться результатами экспериментальных исследований.

Значение диаметра гофрощеточных барабанов определяем, исходя из условия одновременной обработки рекомендуемого количества слоев корнеплодов $n = 3 \dots 5$ и обеспечения необходимой пропускной способности разрабатываемого очистителя (рисунок 2.6): $O_1O_1^* + AB = n \cdot r + \Delta h$, $O_1O_1^* = 2R \cdot \sin \mu$, $AB = R$. Тогда диаметр гофрощеточного барабана D определится выражением:

$$D = \frac{n \cdot d_k + 2\Delta h}{2 \sin \mu + 1} \quad (2.21)$$

где d_k – диаметр корнеплодов кормовой свеклы средней фракции.

При диаметре корнеплода в наибольшем его сечении $d_k = 0,1$ м, количестве одновременно обрабатываемых слоев корнеплодов $n = 3$, угле подъема боковых барабанов $\mu = 45^\circ$ наименьший диаметр барабанов должен быть $D_{min} = 0,21$ м. Оптимальное же значение диаметра гофрощеточных барабанов будет уточняться экспериментальными исследованиями.

Значение диаметра опорных дисков на барабанах определяем, исходя из условия незащемления и непровала очищаемых корнеплодов средней фракции в рабочем объеме очистителя (рисунок 2.10). Из теории роликовых очистителей корнеплодов [153, 187] известно, что если угол между сжимающими поверхностями (при условии равенства коэффициентов трения тела по ним) будет меньше удвоенного угла трения, то тело будет защемлено (не будет выскальзывать из раствора угла). Наиболее благоприятные условия

для защемления корнеплодов создаются, когда эластичные диски расположены в одной горизонтальной плоскости (рисунок 2.10).

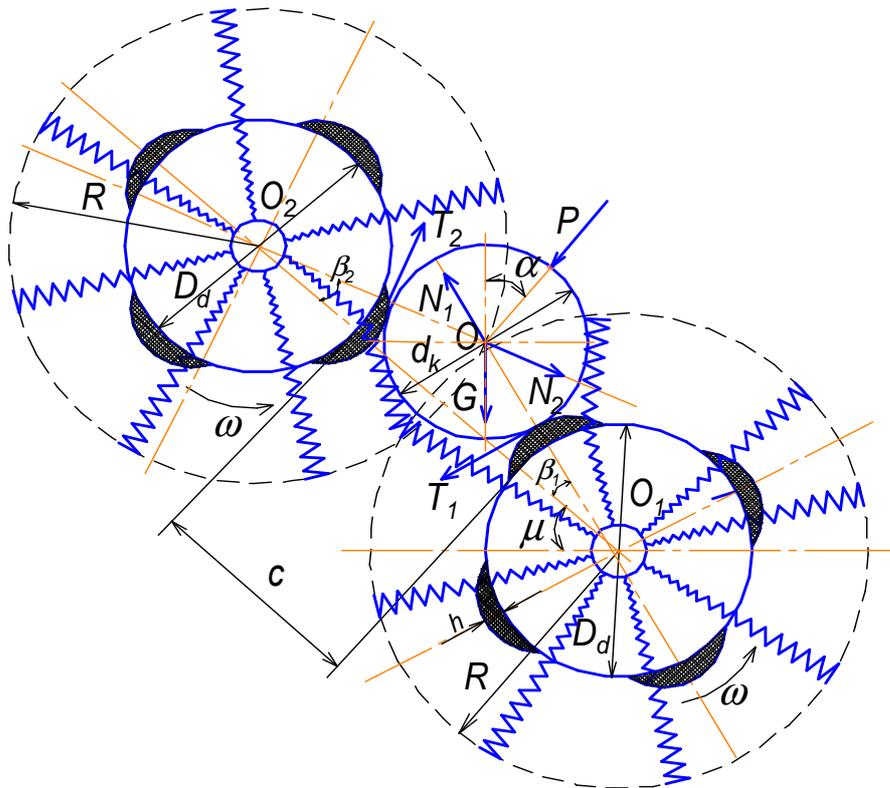


Рисунок 2.10 – Схема взаимодействия корнеплода с опорными дисками барабанов

В этот момент на корнеплод действует сила веса вышележащих корнеплодов P , сила веса рассматриваемого корнеплода G , нормальные реакции со стороны дисков N_1 и N_2 и силы трения (полезные силы счесывания) T_1 и T_2 . Примем, что все перечисленные силы действуют в одной вертикальной плоскости, перпендикулярной осям вращения барабанов. Осевые силы при этом учитывать не будем. Силы T_1 и T_2 сохраняют свое направление при условии: окружная скорость корнеплода всегда меньше окружной скорости вращения дисков. Под действием T_1 и T_2 окружная скорость корнеплода возрастает. Если сумма углов β_1 и β_2 меньше удвоенного угла трения $2\varphi_k$, то результирующая сила от сил трения и нормального давления будет направлена в сторону действия силы тяжести,

что приведет к защемлению корнеплода между дисками и его потере (проваливанию между ними).

Определим диаметр дисков, исходя из условия незащемления корней $2\varphi_k \leq \beta_1 + \beta_2$. Из схемы на рисунке 2.10 имеем соотношения: $O_2O = 0,5(D_d + d_k)$, $O_1O = 0,5(D_d + d_k + 2 \cdot h)$, $O_1O_2 = 2R = 0,5(D_d + c)$, $\cos(\beta_1 + \beta_2) = \frac{O_1O_2 - O_1O - O_2O}{2 \cdot O_1O \cdot O_2O}$.

Тогда диаметр опорных дисков D_d будет равен:

$$D_d = \frac{(d_k + h)\cos^2 \varphi_k - c + \sqrt{[c - (d_k + h)\cos^2 \varphi_k]^2 - (1 - \cos^2 \varphi_k)(c^2 - h^2 - (d_k^2 + 2hd_k)\cos^2 \varphi_k)}}{1 - \cos^2 \varphi_k} \quad (2.22)$$

а высота утолщений h на дисках определится выражением:

$$h = \sqrt{(D_d + d_k)^2 \cos^4 \varphi_k - D_d^2 (\cos^2 \varphi_k - 1) - d_k^2 \cos^2 \varphi_k - 2D_d(d_k \cos^2 \varphi_k - c) + c^2 - \cos^2 \varphi_k (D_d + d_k)} \quad (2.23)$$

Рациональное значение высоты эллиптических утолщений определяется экспериментальным путем в разделе 3 настоящей работы. Зависимости (2.22) и (2.23) выведены для случая, когда центры вращения опорных дисков барабанов очистителя лежат в одной горизонтальной плоскости. В случаях, когда боковые барабаны приподняты на угол μ или все барабаны наклонены к горизонту под углом γ , угол захвата корнеплодов уменьшается на величины μ и γ , вероятность их защемления также уменьшается. Задаваясь величинами d_k , φ_k , h и c для средней непроходной фракции корнеплодов, по зависимости (2.22) можно определить диаметр опорных дисков с эллиптическими утолщениями, при котором защемления и провал корнеплодов происходить не будут. По данным исследований [97, 167, 176, 190] диаметр корнеплодов кормовой свеклы изменяется в пределах 60...170 мм, а угол трения φ_k от 22 до 37°.

Конструктивные параметры h и c могут иметь значения, соответственно, до 30 и 80 мм [88, 94]. Тогда наибольший диаметр опорных дисков, подсчитанный по формуле (2.22), не превышает 0,25 м.

Расстояние t между опорными дисками вдоль оси барабана определяется из условия непровала и геометрией корнеплодов средней

фракции (рисунок 2.11). Корнеплоды средней и крупной фракции в процессе их обработки в рабочем объеме очистителя не должны проваливаться в зазорах между соседними дисками барабанов.

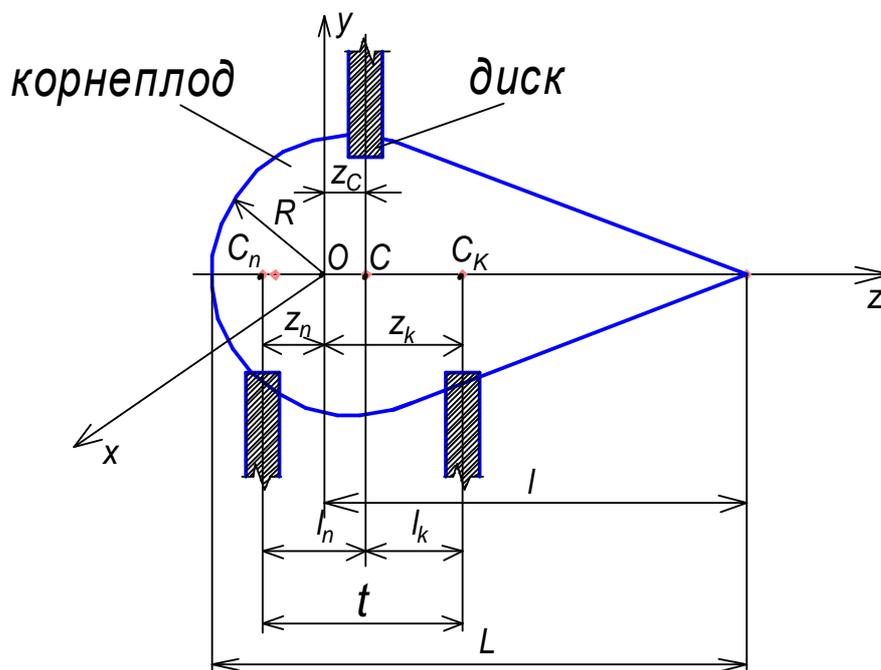


Рисунок 2.11 – Схема для определения расстояний между дисками на барабанах

Примем, что для обеспечения устойчивого положения корнеплода точки его контакта с дисками барабанов должны располагаться на одной линии с центрами составных частей корнеплода – полусферы и конуса, т.е. $t \leq l_n + l_k$, где l_n, l_k – расстояние от центра масс, соответственно, полусферы и конуса до центра тяжести объединенного тела т. С (корнеплода). Из схемы на рисунке 2.11 имеем $l_n = |z_n - z_c|$, $l_k = |z_k - z_c|$, $z_n = -\frac{3}{8}R$, $z_c = \frac{l^2 - 3R^2}{4(2R + l)}$, $z_k = \frac{l}{4}$, где z_n – расстояние от центра координат т. О до центра тяжести полусферы т. C_n , z_k – расстояние от т. О до центра тяжести конусной части [52]. С учетом вышеприведенных зависимостей расстояние между соседними дисками по длине барабана определится выражением:

$$t \leq \frac{1}{8} \cdot (2l + 3R) \quad (2.24)$$

где l – длина конусной части корнеплода;

R – радиус полусферической части корнеплода в наибольшем его сечении.

2.4 Определение мощности привода гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов

Мощность на привод гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов N расходуется на преодоление трения гофрополосного ворса барабанов об обрабатываемый материал (корнеклубнеплоды), счесывание налипших примесей (налипшей почвы и растительных остатков) и их отбрасывание N_{mp} , на преодоление сопротивления воздуха вращению гофрощеток N_B , на деформацию гофроворса N_D [44, 59, 119, 132].

Таким образом, мощность на привод очистителя будет равна:

$$N = \frac{z \cdot k_{rb} \cdot k_{ner}}{\eta_{rb}} \cdot [N_{ir} + N_B + N_D] \quad (2.25)$$

где z – количество вращающихся барабанов;

k_{rb} – коэффициент, характеризующий работу барабанов с различным количеством гофрополосного ворса, примем $k_{rb} = 1,1 \dots 1,2$;

k_{ner} – коэффициент перегрузки в момент пуска очистителя под нагрузкой, примем $k_{ner} = 1,2 \dots 1,3$;

η_{rb} – общий КПД привода очистителя, примем $\eta_{rb} = 0,8 \dots 0,9$.

Мощность (в кВт) на преодоление сил трения гофроворса барабанов о корнеплоды, счесывание и отбрасывание загрязнений с них, определим выражением:

$$N_{ir} = 10^{-3} \cdot N \cdot v_l \cdot k_{ot} \cdot i_{rab} \cdot f \quad (2.26)$$

где N – нормальная реакция гофроворса от веса вышележащих корнеплодов, определяется уравнением (2.8);

v_l – осевая скорость перемещения корнеплодов в рабочем объеме очистителя, определяется уравнением (2.16);

f – коэффициент трения гофрополосного ворса о корнеплоды;

i_{rab} – рабочее число гофрополос, непосредственно участвующих в контакте с очищаемыми корнеплодами, определяется формулой

$i_{rab} = i_{ob} \cdot \frac{\varphi_{rb}}{360}$, где φ_{rb} – угол, определяющий контактирующую часть

гофрощеточного барабана в зависимости от заполнения рабочего объема очистителя и угла подъема верхних барабанов, i_{ob} – общее число гофрополос на барабанах, определяется зависимостью [59]

$i_{ob} = \frac{\pi \cdot d_c \cdot L}{b \cdot \delta} \cdot k_k \cdot \eta_{rb}$, где d_c – диаметр сердечника барабана; L – длина

барабана; b и δ – соответственно ширина и толщина гофрополосы; k_k – коэффициент, учитывающий фактическое количество гофрополос, находящихся в контакте с корнеплодом в форме полусфероконуса, определяется выражением [174, 175] $k_k = \Delta R \cdot ctg(\gamma_k / l_k)$, где ΔR – радиальная деформация гофроворса, γ_k и l_k – соответственно конусность (в рад) и длина корнеплода; η_{rb} – коэффициент плотности размещения гофроворса на барабанах, $\eta_{rb} = \Sigma S_{rb} / S_c$, где ΣS_{rb} – суммарная площадь, занимаемая гофрополосным ворсом на сердечнике барабана, S_c – площадь сердечника барабана;

k_{ot} – коэффициент, учитывающий дополнительные сопротивления на счесывание налипших примесей и их удаление (отбрасывание) из зоны очистки, примем $k_{ot} = 1,05 \dots 1,1$ [59, с. 125].

Мощность, расходуемая на преодоление сопротивления воздуха вращению гофрощеточного барабана, может быть приближенно определена через элементарную мощность $dN_B = dP_B \cdot v$, где dP_B – элементарная сила сопротивления среды перемещению бесконечно малой площадки гофрополоски (рисунок 2.12), v – скорость перемещения бесконечно малой площадки гофрополоски.

Проинтегрировав выражение для dN_B в соответствующих пределах, получим величину мощности N_B (в кВт) для цилиндрического вращающегося

барабана с равномерным распределением гофрополосного ворса на сердечнике:

$$N_B = 2,156 \cdot 10^{-8} \cdot b \cdot \xi \cdot i_{ob} \cdot n^3 (R^4 - r_c^4) \quad (2.27)$$

где ξ – безразмерный параметр, характеризующий геометрию гофрированной полоски [88, 92, 99, 100], примем $\xi = 1,2 \dots 1,3$;

n – частота вращения гофрополосного ворса;

R и r_c – соответственно, наружный радиус гофрворса на барабане и радиус сердечника.

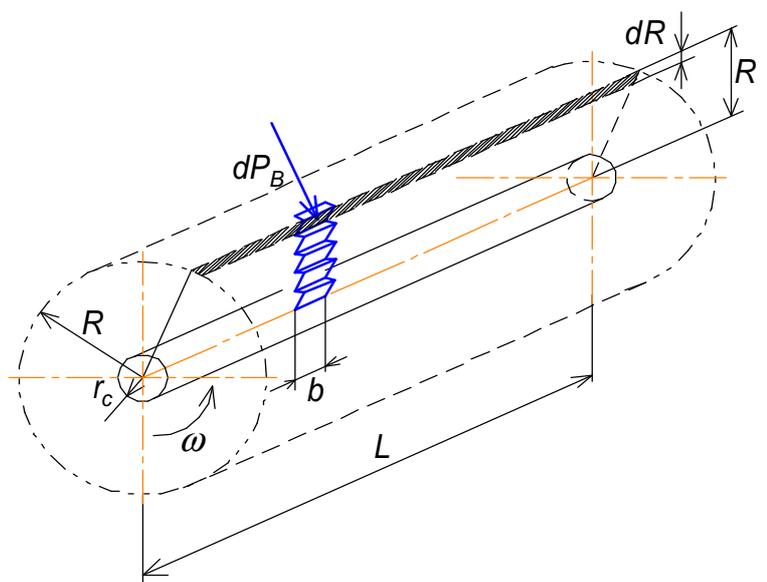


Рисунок 2.12 – Объем описываемый элементарной площадкой движущегося в воздухе гофрополосного ворса

Необратимая часть энергии, затрачиваемая на деформацию гофрворса цилиндрических барабанов N_D , зависит, главным образом, от величины радиальной деформации ΔR и момента деформации $M_D = N \cdot \Delta R$:

$$N_D \cong i_{ob} \cdot M_D \cdot \frac{n}{3 \cdot 10^6} \quad (2.28)$$

Для тех случаев, когда деформации гофрворса невелики, значение момента деформации M_D , в первом приближении, можно вычислить, пользуясь теорией плоского изгиба [59, 157], в соответствии с которой для любого сечения упругодеформированной полоски имеем $M_D = \frac{EJ \cdot \xi}{L_0} \cdot \varphi_{\max}$, где

EJ – определяет жесткость гофрированной полоски, L_0 – свободная длина единичной гофрополоски, $\varphi_{\max} = \frac{N \cdot L_0^2}{2EJ\xi}$ – максимальный угол поворота граничных сечений гофрополоски при изгибе. Тогда затраты энергии на деформацию гофрированных полосок, непосредственно участвующих в контакте с корнеплодами, могут быть определены по формуле:

$$N_D = \frac{\pi \cdot n \cdot f \cdot N \cdot L_0 \cdot i_{rab}}{6 \cdot 10^6} \quad (2.29)$$

Таким образом, теоретическое значение мощности, потребной на привод гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов, можно определить по зависимости (2.25) с учетом формул (2.26...2.29). График зависимости мощности на привод очистителя от частоты вращения гофрощеточных барабанов представлен на рисунке 2.13 (при диаметре барабанов $D = 0,5\text{м}$, длине гофрополосок $L_0 = 0,2\text{м}$, их количестве на барабане $i_{ob} = 1500\text{шт}$, количестве барабанов $z = 4\text{шт}$).

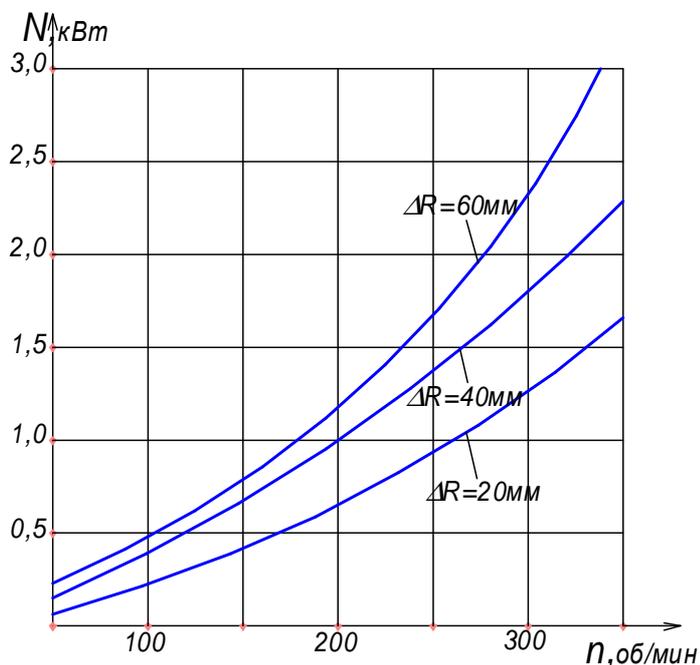


Рисунок 2.13 – Теоретическая зависимость мощности на привод N от частоты вращения гофрощеточных барабанов n и радиальной деформации гофрворса ΔR

Из анализа зависимостей (2.24...2.28) и рисунка 2.13 следует, что потребляемая мощность в наибольшей степени будет зависеть от частоты вращения гофрощеточных барабанов n , их количества z и величины радиальной деформации ΔR . Окончательное же определение затрат мощности очистителем должно уточняться результатами экспериментальных исследований, для чего также необходимо экспериментальным путем установить некоторые недостающие механико-технологические свойства реального вороха корнеплодов, в частности коэффициент трения движения корнеплодов при перемещении по поверхности гофрощеточных барабанов f , скорость перемещения корнеплодов в рабочем объеме очистителя v_l , время пребывания обрабатываемого материала в рабочем объеме очистителя τ .

Выводы

1. Проведенный обзор и анализ конструкций очистителей-отделителей корнеклубнеплодов от примесей позволили выдвинуть рабочую гипотезу и обосновать конструктивно-технологическую схему перспективного технического средства для механической (безводной) очистки без применения воды – гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов;

2. В результате теоретических исследований получена математическая модель движения единичного корнеплода по внешней поверхности наклонного вращающегося цилиндрического гофрощеточного барабана (2.6). Получены математические модели (2.9), описывающие процесс механической (безводной) очистки с достаточной степенью адекватности, которые позволяют определить теоретические значения перемещений, скоростей и ускорений обрабатываемых корнеплодов, а также величину нормальной реакции (2.8) и полезной силы трения (2.10) (приложение Г);

3. Получены выражения для определения теоретических значений производительности очистителя (2.18) и затрат мощности на осуществление процесса очистки (2.25). Также получены теоретические зависимости для

определения основных конструктивно-режимных параметров очистителя: длины и диаметра барабанов (2.20) и (2.21), диаметра и шага расположения опорных дисков (2.22) и (2.23), высоты эллиптических утолщений на дисках (2.24) и угловой скорости вращения барабанов (2.14);

4. Проведенные исследования позволили теоретически обосновать рабочий процесс и условия (2.12) и (2.13), необходимые для осуществления очистки в рабочем объеме гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов и определить его основные конструктивно-режимные параметры:

- диаметр гофрощеточных барабанов очистителя должен находиться в пределах 0,4...0,6м;
- рациональная частота вращения гофрощеточных барабанов должна находиться в пределах 100...300мин⁻¹;
- зазор между барабанами и заслонкой должен быть не больше 0,05м, а между дисками соседних барабанов не более 0,07...0,08м;
- длина очистителя должна находиться в пределах 0,5...1,5м;
- диаметр опорных дисков должен находиться в пределах 0,2...0,36м, а шаг их расположения по длине барабанов должен изменяться в пределах 0,08...0,16м;
- высота утолщений на дисках должна быть не более 0,03м, а их количество на одном диске должно быть не более четырех;

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА

3.1 Программа экспериментальных исследований

В соответствии с целью исследований и поставленных задач, а также для проверки основных теоретических положений работы и обоснования параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов определена следующая программа экспериментальных исследований:

1. Определение объектов исследования, показателей рабочего процесса и факторов, влияющих на эффективность очистки корнеплодов, определение уровней и интервалов их варьирования;

2. Определение влияния параметров рабочих органов на качество очистки, производительность и энергоемкость гофрощеточного очистителя;

3. Изучение влияния начальной загрязненности и влажности налипших примесей на эффективность очистки;

4. Установление зависимости эффективности очистки корнеплодов от продолжительности их обработки;

В соответствии с намеченной программой исследований планировалось определить показатели качества работы гофрощеточного очистителя и установить зависимости влияния конструктивных и кинематических параметров на производительность и качество очистки.

3.2 Объекты исследований и показатели рабочего процесса гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов

Объектами научного исследования являются технологический процесс механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов, принципиально новая конструкция гофрощеточного очистителя и выкопанные вручную

корнеплоды кормовой и сахарной свеклы с загрязнениями в период физиологической спелости.

При очистке кормовых корнеплодов в процессе подготовки их к скармливанию с.-х. животным наиболее важным показателем, с точки зрения зоотехнических требований, является остаточная загрязненность, которая не должна быть более 3% [62, 80, 144]:

$$\delta_{oc} = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

где δ_{oc} – остаточная загрязненность;

m_2 – масса корнеплодов после очистки;

m_3 – масса отмытых (чистых) корнеплодов.

Большое значение имеет показатель эффективности очистки [80, 88, 145, 174, 175, 190], позволяющий обосновать оптимальные режимы работы и сравнить различные очистительные устройства в процессе их испытаний и исследований:

$$E = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

где E – эффективность очистки;

m_1 – масса загрязненных корнеплодов до очистки.

Для изучения работы очистителя практический интерес представляют также следующие показатели:

а) общая начальная загрязненность кормовых корнеплодов:

$$\delta_{ob} = \frac{m_1 - m_3}{m_3} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

б) начальная загрязненность связанной почвой:

$$\delta_{cv} = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

где m_4 – масса корнеплодов до очистки после удаления свободных примесей (почвенные комки, камни, растительные остатки);

в) начальная загрязненность свободными (неналипшими) примесями:

$$\delta_{\text{своб}} = \frac{m_1 - m_4}{m_3} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

г) потери массы корнеплодов в процессе очистки на очистительном устройстве:

$$p = \frac{m_5}{m_4} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

где p – потери массы корнеплодов;

m_5 – масса целых корнеплодов и их частей, неправильно отделившихся (утерянных) при очистке.

Энергетическими показателями процесса очистки являются потребляемая гофрощеточным очистителем мощность и удельная энергоемкость процесса очистки:

$$P = \frac{N}{M} \quad (3.7)$$

где P – удельная энергоемкость очистки;

N – мощность, затрачиваемая на осуществление процесса очистки;

M – производительность гофрощеточного очистителя.

Для проведения экспериментальных исследований использовались следующие приборы и инструменты:

1. Инвертор векторного управления марки СНЕ 100-2R2G-4;
2. Измерительный комплект К-505;
3. USB осциллограф КИТ ВМ8020;
4. Весы электронные общего назначения ТВЕ-6-0,1;
5. Весы рычажные РП-50Ш13П-1;
6. Секундомер СДС пр-1 ГОСТ 5072-72;
7. Штангенциркуль нониусный ШЦ- II -300 0,05 ГОСТ 166-89;
8. Масштабная линейка;
9. Угломер;
10. Трибометр (прибор «наклонная плоскость»);
11. Тензорезисторы одиночные прямоугольные П-1;

12. Динамометр сжатия механический ДОСМ-3-0,5У 5093.

Кроме вышеперечисленных приборов и инструментов при проведении опытов использовалось и другое специально изготовленное несложное оборудование.

3.3 Методика проведения экспериментальных исследований

Для установления зависимости влияния конструктивных и кинематических параметров на производительность и качество очистки нами была разработана и изготовлена лабораторная установка (рисунок 3.1). На раме 1 смонтирована рабочая камера 2 для корнеплодов длиной 0,5м, шириной 0,9м, высотой 0,6м и электропривод 3. В рабочей камере установлены два гофрощеточных барабана 4 и 5 и заслонка 6, регулирующая расстояние между ними. Гофрощеточный барабан 4 установлен в камере с возможностью его перемещения относительно барабана 5 влево – вправо – вверх и состоит из набора шарнирно закрепленных криволинейных гофрированных полосок 7. Гофрощеточный барабан 5 состоит из наборов шарнирно закрепленных гофрированных полосок 7 криволинейной формы пальчатого профиля и установленных с определенным шагом дисков 8 с закрепленными на них эллиптическими утолщениями 9. Для изменения угла наклона рабочей камеры к горизонту служат механизмы перекоса 10. Посредством цепной передачи 11, гофродисковые барабаны приводятся во вращение, которое передается на один из них через муфту 12 от электродвигателя 3. Изменение частоты вращения электродвигателя производится инвертором векторного управления 13.

Для определения сил взаимодействия наборов гофрированных полосок с корнеклубнеплодами (объектами очистки) и изучения характера их движения по поверхности в лабораторной установке используется цилиндр с тензодатчиками 14 и механизм перемещения 15 с рамкой 16. Тензоизмерительные датчики подключаются через электронный осциллограф 17 к персональному компьютеру 18 и обеспечивают возможность

дистанционных измерений, относительно простое усиление сигнала, высокую чувствительность, малую инерционность измерительных устройств и простоту обработки информации [29, 101]. Техническая характеристика осциллографа КИТ ВМ8020 и тензодатчиков П-1 представлена в приложении Д.

Тарировка тензоизмерительных элементов осуществлялась в сборе, что позволило одновременно проверить качество их монтажа. Разность сопротивлений тензодатчиков одного полумоста не превышала 0,1%, относительная разность расстояний между двумя тензодатчиками одного пролета 0,6%. Относительная разность моментов сопротивления сечений пролетов находилась в пределах 0,8...1%. При этих условиях относительная разность чувствительности тензодатчиков не превышала 0,5%. Соединительные провода от тензодатчиков к цифровому осциллографу ВМ 8020 при проведении всех опытов имели постоянную длину. При тарировании определяли зависимость выхода тока от нагрузки и влияние на характеристику тензоэлемента места приложения нагрузки. Тарировку тензодатчиков проводили путем динамометрирования с помощью динамометра сжатия ДОСМ-3-0,5У 5093.

При проведении поисковых опытов по определению качества очистки на лабораторной установке из каждой повторности опытов отбирались 3...5 корнеплодов, взвешивались с точностью до ± 1 г на электронных весах и помечались. Затем помеченные корнеплоды помещались в рабочую камеру установки на поверхность гофрощеточных барабанов и, на них сверху, помещался слой немеченых корнеплодов. Установка настраивалась на необходимый режим и включалась в работу. Время обработки корнеплодов было выбрано согласно ранее проведенных исследований, равнялось 30с и контролировалось секундомером [90].

Очищенные корнеплоды взвешивались на электронных весах, затем тщательно вручную отмывались и, после стекания воды в течение 3...5мин, снова взвешивались.

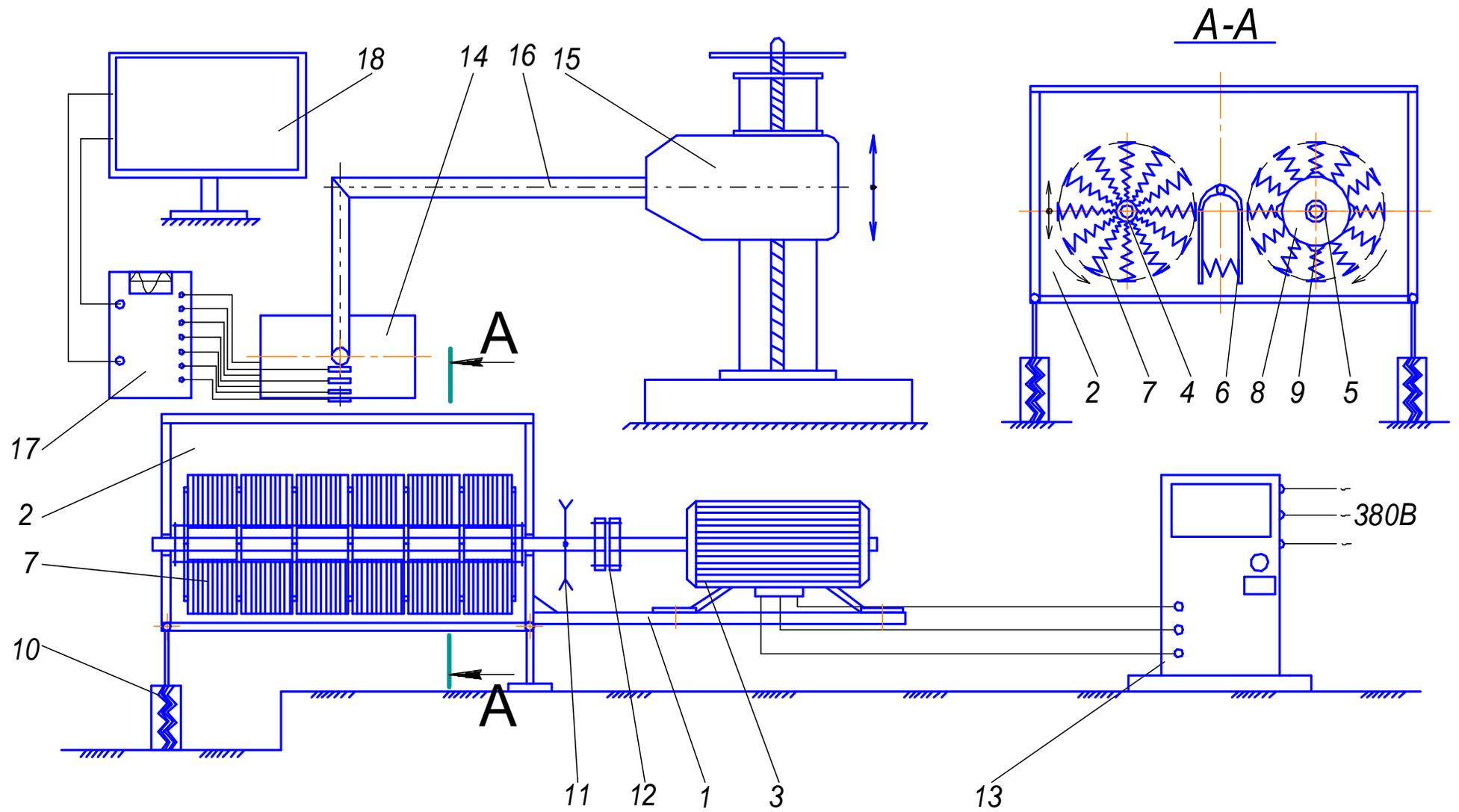


Рисунок 3.1 – Схема лабораторной установки

От массы чистых (отмытых) корнеплодов вычитали массу прилипшей воды в размере 1% [80, 111, 115]. По результатам трех взвешиваний определялось качество очистки.

Для визуального наблюдения за характером взаимодействия корнеплодов с гофрощеточными барабанами и регулировочной заслонкой проводили видеосъемку процесса очистки: для этого отдельный корнеплод среднего размера наиболее правильной формы помещался внутрь рабочей камеры лабораторной установки, две противоположные стенки которой выполнены из оргстекла и являются прозрачными. Съемка проводилась на всех режимах работы гофрощеточных барабанов с последующим покадровым анализом и расшифровкой на ЭВМ. На первом этапе исследования на лабораторной установке проводили эксперименты по определению:

- сил взаимодействия гофрированных полос с криволинейной поверхностью (цилиндром) в зависимости от окружной скорости вращения барабана и его диаметра, радиальной деформации материала и геометрических характеристик очистных гофрополос, плотности их расположения на сердечнике;

- характера движения очистных гофрополос по криволинейной поверхности, их положения в период контакта при максимальной деформации;

- влияния диаметра и частоты вращения гофрощеточных барабанов, диаметра и шага расположения обрешеченных дисков, количества и размеров эллиптических утолщений на дисках, зазора между барабанами и заслонкой, угла наклона гофрощеточных барабанов к горизонту, содержания примесей на эффективность их очистки и отделения. Наименование факторов и уровни их варьирования, которые можно изменять на лабораторной установке, приведены в таблице 3.1.

По результатам анализа научной литературы и серии поисковых опытов, при лабораторном исследовании, был установлен основной уровень для всех факторов, а интервалы варьирования приняты такими, при которых заметно

изменение хода процесса очистки и отделения примесей, но, в то же время, существенно процесс не меняется.

Таблица 3.1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

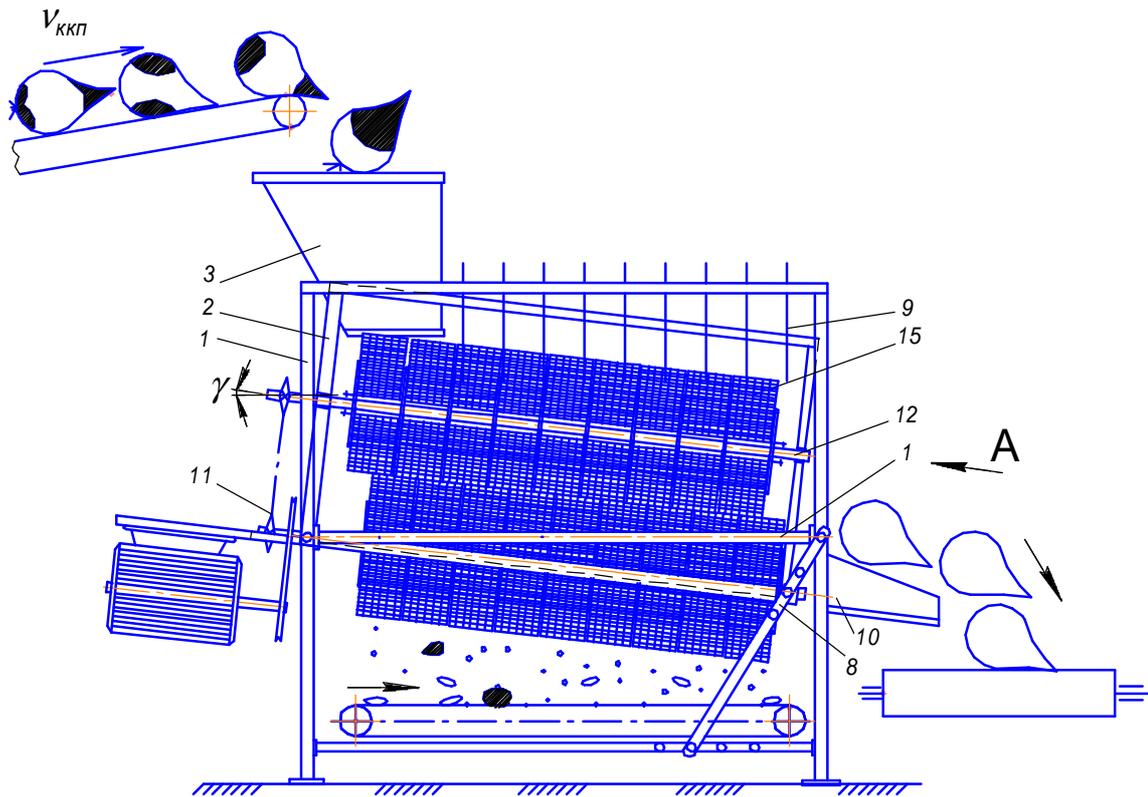
Натуральное обозначение	Наименования факторов	Условное обозначение	Уровни варьирования	
			нижний	верхний
X_1	Диаметр гофрощеточного барабана, м	D_b	0,4	0,6
X_2	Частота вращения гофрощеточных барабанов, мин ⁻¹	n	100	300
X_3	Зазор между барабаном и заслонкой, м	s	0	0,05
X_4	Угол наклона очистителя к горизонту, °	γ	3	12
X_5	Угол подъема боковых барабанов, °	β	0	60
X_6	Длина очистителя, м	L	0,5	1,5
X_7	Подача корнеплодов, кг/с	M	0,57	2,77
X_8	Плотность набора гофрополос на сердечнике, шт/см ²	p	0,08	0,25
X_9	Количество гофрощеточных барабанов	z_b	1	4
X_{10}	Диаметр обрезиненных дисков, м	D_d	0,20	0,36
X_{11}	Количество эллиптических утолщений на дисках, шт	z_d	2	4
X_{12}	Шаг расположения дисков по длине барабана, м	t	0,08	0,16
X_{13}	Высота эллиптических утолщений на дисках, м	h	0	0,03
X_{14}	Жесткость гофрополос, кН·мм ²	B	26,13	418,13

3.3.1 Методика проведения опытов на экспериментальной установке

Для определения условий и методики проведения экспериментальных исследований воспользовались ОСТ 70.19.2 – 83 «Машины и оборудование для приготовления кормов. Программа и методы испытаний». В соответствии с программой экспериментальных исследований, поставленными задачами и

выбранными пределами варьирования основных факторов, влияющих на процесс очистки кормовых корнеплодов гофрощеточным очистителем, была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка (рисунки 3.2...3.5), позволяющая проводить исследования в условиях, близких к естественным [80, 86, 146, 150, 156]. Установка состоит из неподвижной 1 и подвижной 2 рамы, загрузочного бункера 3. На подвижной раме симметрично установлены два центральных 4 и два боковых 5 гофрощеточных барабана и одна регулируемая направляющая заслонка 6 между ними, причем боковые гофродисковые барабаны с помощью механизма перемещения 7 способны изменять свое положение относительно центральных барабанов, а конструкция направляющей заслонки позволяет регулировать расстояние между ними. В конструкцию экспериментальной установки также входит механизм наклона подвижной рамы 8, прутковые отражатели 9, выгрузной лоток корнеплодов 10, механизм привода барабанов 11. На валах 12 гофрощеточных барабанов с определенным шагом установлены обрешеченные диски 13 с дополнительными эллиптическими утолщениями 14 на них. Между дисками на валах шарнирно закреплены наборы гофрированных полос 15 криволинейной формы «пильчатого» профиля. Место загрузки кормовых корнеплодов внутрь рабочего объема установки (рабочая длина гофрощеточных барабанов) регулируется перемещением загрузочного бункера по направляющим. Скорость прохода корнеплодов внутри рабочего объема установки определяется углом установки очистителя к горизонту и частотой вращения гофрощеточных барабанов. Работу экспериментальной установки (рисунок 3.3) также обеспечивает пульт управления 16, инвертор векторного управления марки СНЕ 100-2R2G-4 (поз. 17) и силовой электрощит 18.

Технологический процесс работы очистителя протекает следующим образом. В начале работы механизмом перемещения боковых барабанов устанавливается необходимое сечение рабочей камеры очистителя, механизмом наклона подвижной рамы устанавливается определенный угол наклона рабочей



Вид А

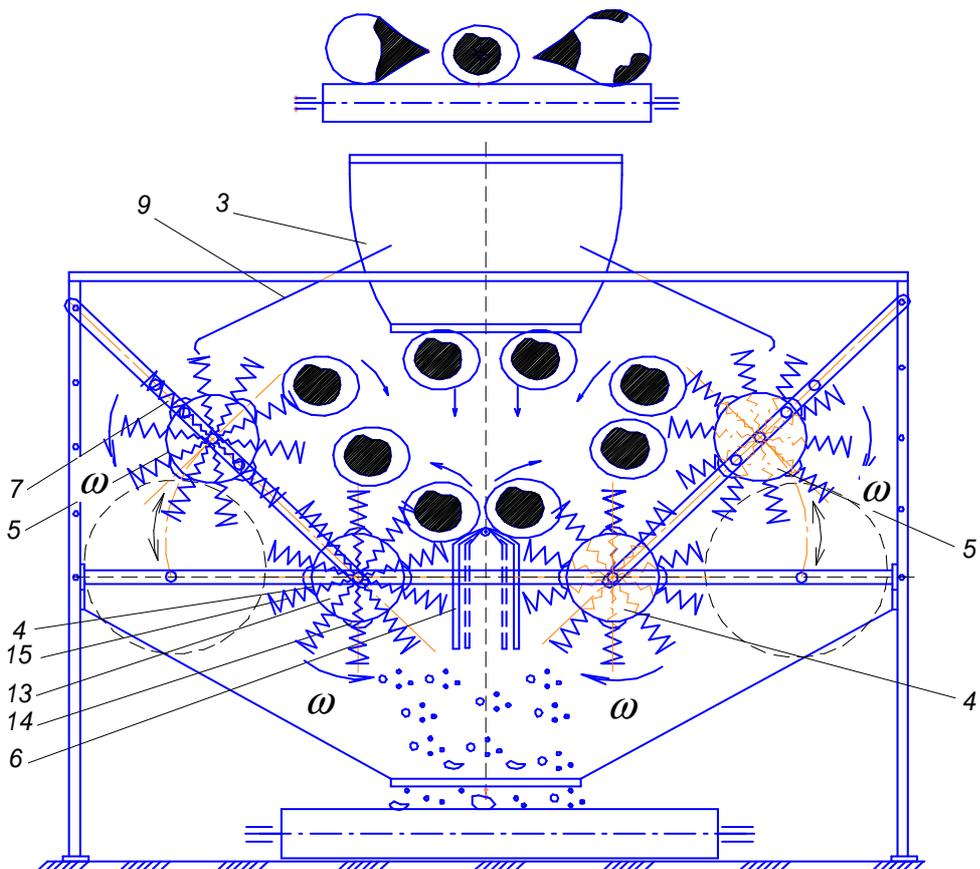
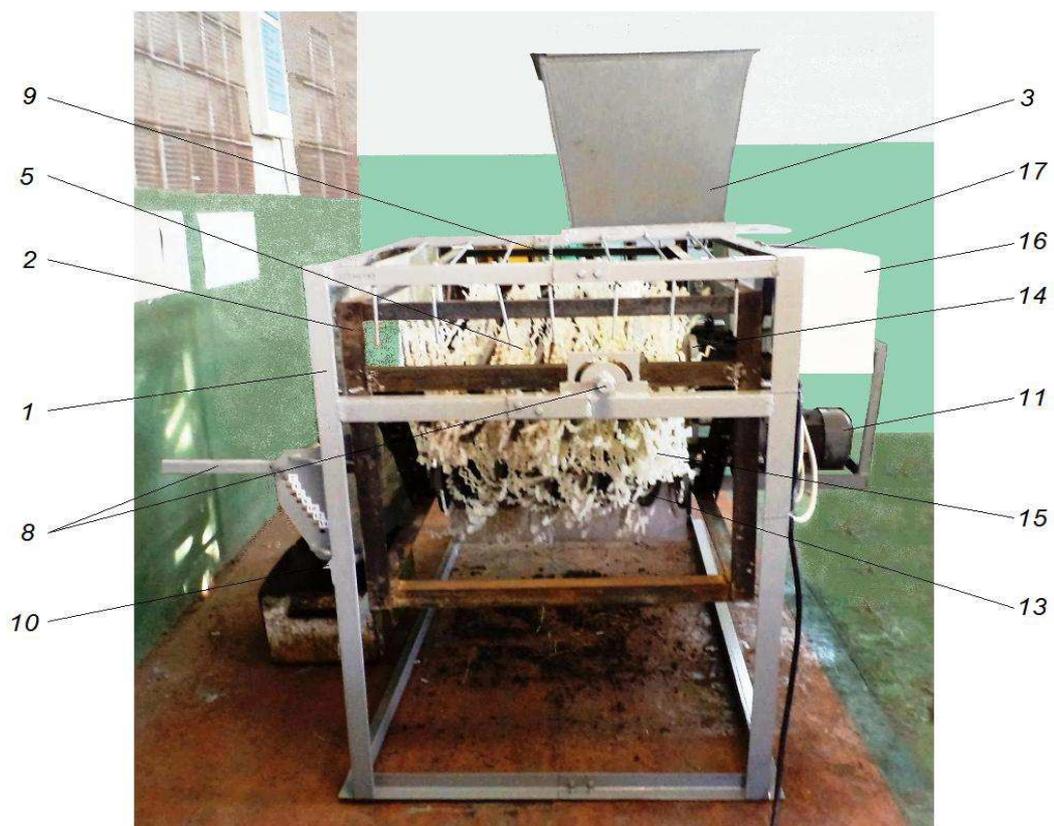


Рисунок 3.2 – Конструктивно – технологическая схема экспериментальной установки

камеры очистителя к горизонту, регулированием направляющей заслонки устанавливают необходимый зазор между гофрощеточными барабанами. Частоту вращения барабанов регулируют с помощью инвертора марки СНЕ 100-2R2G-4 и асинхронного электродвигателя АИР 90L4У3 мощностью 2,2 кВт (рис.3.4). Боковые (верхние) барабаны приводятся во вращение цепной передачей от центральных (нижних) барабанов. Ворох корнеплодов, подаваемый на очистку, через загрузочный бункер попадает в рабочую камеру переменного сечения на наклонные вращающиеся цилиндрические гофрощеточные дисковые барабаны. Внутри рабочей камеры, встречаясь с барабанами и заслонкой, корнеклубнеплоды совершают разнонаправленное циклическое движение: вначале перемещаются по поверхностям центральных (нижних) барабанов, далее подхватываются боковыми (верхними) барабанами и приподнимаются ими на определенную высоту до прутковых отражателей, а затем скатываются вниз, интенсивно перетираясь между собой. Обрезиненные диски с эллиптическими утолщениями (рисунки 3.2...3.4) создают дополнительное динамическое влияние на корнеклубнеплоды, перемещая их в радиальном направлении.

Взаимодействуя с гофрированным ворсом и дисками с утолщениями, связанная с корнями почва переходит в разряд свободной и, вместе с другими примесями, просеивается через зазоры между барабанами на брезентовое полотно или транспортер отвода примесей. Очищенные корнеклубнеплоды скатываются по выгрузному лотку на транспортер корнеплодов.

Опыты проводились в лаборатории сепарации сыпучих материалов Луганского государственного университета им. Тараса Шевченко. Выкопанные вручную корнеплоды кормовой свеклы общей массой 250...300 кг взвешивались с точностью до ± 20 г на весах РП-50 Ш13П-1 и доставлялись к месту проведения опытов. Время между выкапыванием корнеплодов и проведением опытов не превышало 1 часа. Для каждого опыта брали 15...25 корнеплодов свеклы (навеска массой 30...40кг).



а) вид сбоку



б) вид спереди

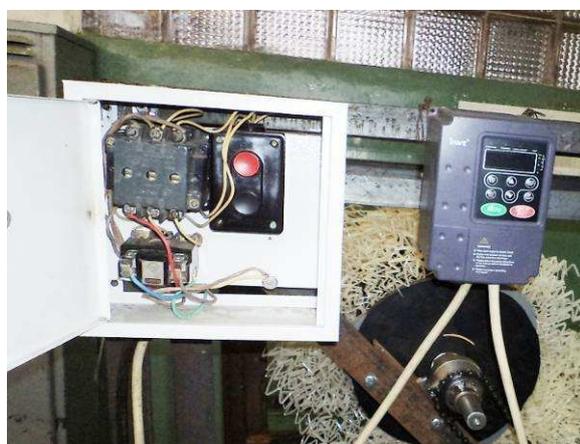
Рисунок 3.3 – Вид общий экспериментальной установки

В данную навеску отбирались наиболее грязные корнеплоды: их загрязненность связанной почвой была 8...12%. Конструктивные элементы экспериментальной установки представлены на рисунках 3.4 и 3.5.

При поступлении на обработку отбирались пробы связанной с корнеплодами почвы для определения ее влажности. Пробы примесей на влажность отбирали в четырехкратной повторности из каждой серии опытов. Причем вначале опыты проводились с корнеплодами, имеющими наибольшую влажность связанной почвы, в последующем на очистку поступали навески корнеплодов, все более и более подсохших на открытом воздухе при постоянном их переворачивании вручную.



а) привод установки



б) пульт управления и инвертор



в) бункер установки



г) выгрузной лоток

Рисунок 3.4 – Конструктивные элементы экспериментальной установки



а) регулируемая заслонка



б) механизм наклона барабанов

Рисунок 3.5 – Заслонка и механизм наклона экспериментальной установки

При проведении экспериментов корнеплоды из этой навески загружались внутрь очистителя при установившемся режиме его работы, одновременно фиксировалось время опыта. В загрузочный бункер добавлялась также свободная почва в количестве 10...15% к массе корнеплодов и солоmistые примеси в количестве до 3%. Экспериментальная установка настраивалась на соответствующий режим работы, согласно плана эксперимента. Контроль частоты вращения барабанов осуществлялся с помощью инвертора векторного управления марки СНЕ 100-2R2G-4 с пределами измерения 1...36000об/мин и погрешностью $\pm 0,1$ об/мин (рисунок 3.4, б и рисунок 3.6, б).

Очищенные корнеплоды собирались в специальную емкость и взвешивались, затем их тщательно отмывали и после стекания воды в течение 3...5мин, снова взвешивали. Из массы чистых (отмытых) корнеплодов при третьем взвешивании вычитали массу приставшей к корням воды в размере 1% от массы чистых корнеплодов [80, 111, 115] и по зависимостям (3.1) и (3.2) определялись эффективность очистки и остаточная загрязненность.

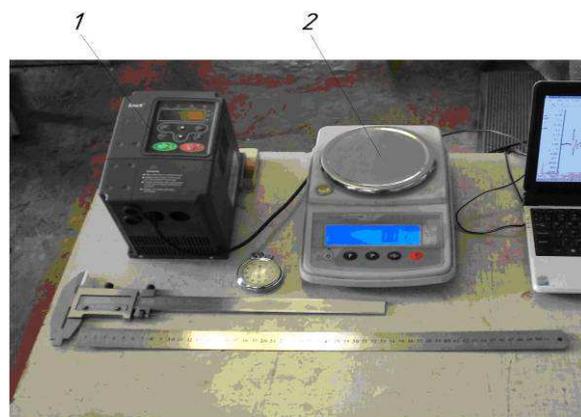
При определении потерь массы корнеплодов при очистке, примеси, отделенные очистителем, поврежденные корнеплоды и их части, собирали на брезент, находящийся под очистителем. Боковые корешки и хвосты диаметром

до 10мм относили к прочим примесям. Обломки корнеплодов из общей массы примесей под очистителем выбирали и взвешивали. Потери массы корнеплодов определяли по зависимости (3.6).

Энергетическую оценку работы гофрощеточного очистителя проводили в лабораторных условиях с подключением измерительного комплекта К-505 к общей схеме электропривода экспериментальной установки (рисунок 3.6).



а) комплект измерительный К-505



б) инвертор СНЕ 100-2R2G-4 (поз. 1) и весы электронные ТВЕ-6-0,1(поз. 2)

Рисунок 3.6 – Оборудование для измерения затрат электроэнергии и определения весовых и размерных характеристик корнеплодов и примесей

Техническая характеристика комплекта К-505, инвертора СНЕ 100-2R2G-4 и весов ТВЕ-6-0,1 представлена в приложении Д. Удельную энергоёмкость гофрощеточного очистителя определяли по формуле (3.7).

Влияние продолжительности обработки корнеплодов на эффективность очистки определяли следующим образом: в стационарных условиях подготавливался технологический ворох, состоящий из навески загрязнённых корнеплодов (30...40кг) и свободных примесей (почва, камни, солома) в количестве 10...15% соответственно (рисунок 3.7).

Загрязнённость корнеплодов связанной почвой составляла 8...10%. Выгрузная горловина очистителя закрывалась заслонкой. Затем очиститель включался в работу на определенное время, по истечении которого он выключался. Время разгона и остановки очистителя не учитывалось. Свободные примеси, отделившиеся в процессе очистки, взвешивались.

Корнеплоды извлекались из рабочего объема очистителя и взвешивались. Затем они отмывались вручную и снова взвешивались. По результатам взвешиваний с помощью зависимостей (3.1)...(3.7) определялись показатели эффективности работы очистителя.



1 – камни; 2 – регулируемая заслонка; 3 – комки; 4 – корнеплоды свеклы; 5 – заслонка; 6 – гофрощеточные барабаны; 7 – привод; 8 - бункер
Рисунок 3.7 – Технологический ворох в рабочем объеме установки

Определение производительности гофрощеточного очистителя производили при установившемся режиме его работы. Поток очищенных корнеплодов отсекался на протяжении не менее 1мин, затем корнеплоды взвешивались и определялась пропускная способность устройства.

3.3.2 Методика определения механико-технологических свойств корнеплодов с примесями

Нами были проведены исследования по определению размерно-массового состава корнеплодов, количества и влажности связанной почвы, определение

коэффициентов трения загрязненных корнеплодов по различным видам поверхностей (сталь, резина, гофрированный капроновый ворс).

При исследованиях использовались корнеплоды кормовой свеклы сорта Эккендорский желтый и корнеплоды сахарной свеклы сорта Юбилейный после ручной уборки урожая 2014г.

Определение размерной характеристики отдельных корнеплодов проводили путем замера их длины и диаметра по наибольшему сечению с точностью до ± 1 мм [70]. Замер массы производили с помощью электронных весов ТВЕ-6-0,1 с точностью до ± 1 г (рисунок 3.6, б).

При определении влажности почву, отделенную с поверхности корнеплода, помещали в алюминиевый стаканчик и взвешивали вместе с ним на технических весах с точностью до $\pm 0,001$ г. Затем стаканчик помещался в сушильный шкаф и при $t = 105^\circ\text{C}$ выдерживался в течение 5ч. После высушивания стаканчик охлаждался и взвешивался. Взвешиванием определялась также масса чистого и абсолютно сухого стаканчика. Влажность почвы определялась по формуле [80, 110, 111]:

$$W = \frac{m_{DC} - m_C}{m_C - m_B} \cdot 100\% \quad (3.8)$$

где m_{DC} и m_C – соответственно масса пробы со стаканчиком (бюксой) до сушки и после сушки, г;

m_B – масса стаканчика (бюксы), г.

Для изучения формы корнеплодов выполнялись продольные разрезы по плоскостям симметрии отдельных корнеплодов с последующей обводкой каждого разреза и переноса на миллиметровую бумагу. На сечении намечались наиболее вероятные оси инерции и проводилась аппроксимация сечений отдельных корнеплодов с целью определения формы корнеплодов и уравнений, описывающих их поверхности. Выбор наиболее рациональной аппроксимирующей поверхности целесообразно проводить на основании количественной оценки неточности аппроксимации, т.е. путем вычисления остаточной дисперсии:

$$S = \sum_{i=1}^n (y_{ip} - y_{ie})^2 \quad (3.9)$$

где y_{ip} и y_{ie} – расчетное и экспериментальное значения координат поверхности корнеплода;

n – число измерений.

Принято аппроксимацию поверхности, при которой обеспечивается наименьшее из значений остаточной дисперсии координат, считать наилучшей [70, 112, 128, 129]. Изучение микрогеометрии поверхности корнеплодов проводили путем визуального замера характерных размеров (длина, ширина, глубина) неровностей и канавок специальной линейкой и штангенциркулем с точностью до ± 1 мм (рисунок 3.6, б). Замер массы срезанных корешков, а также количества почвы, удаленной вручную из канавок и межкорешкового пространства производили на электронных весах с точностью до ± 1 г.

Определение коэффициентов трения скольжения загрязненных корнеплодов производили на трибометрической установке (рисунок 3.8). Трибометрическая установка состоит из платформы 1 с длиной рабочей поверхности 1,5 м и шириной 0,2 м. Платформа шарнирно соединена с неподвижным основанием 2 с помощью шарнира 3. Угол наклона платформы можно изменять от 0 до 60°. Отсчет угла наклона платформы производится по шкале 4. На боковой поверхности платформы установлено два фоторелейных датчика 5 и 6, которые могут переставляться вдоль ее длины. Датчики управляют работой секундомера 7. На платформе шарнирно закреплены наборы гофрированных полосок 8.

В экспериментах определяли коэффициенты трения скольжения движения корнеплодов кормовой и сахарной свеклы по стали, резине и гофрированным полоскам из капрона, используя зависимость:

$$f = \operatorname{tg} \gamma - \frac{2S}{gt^2 \cos \gamma} \quad (3.10)$$

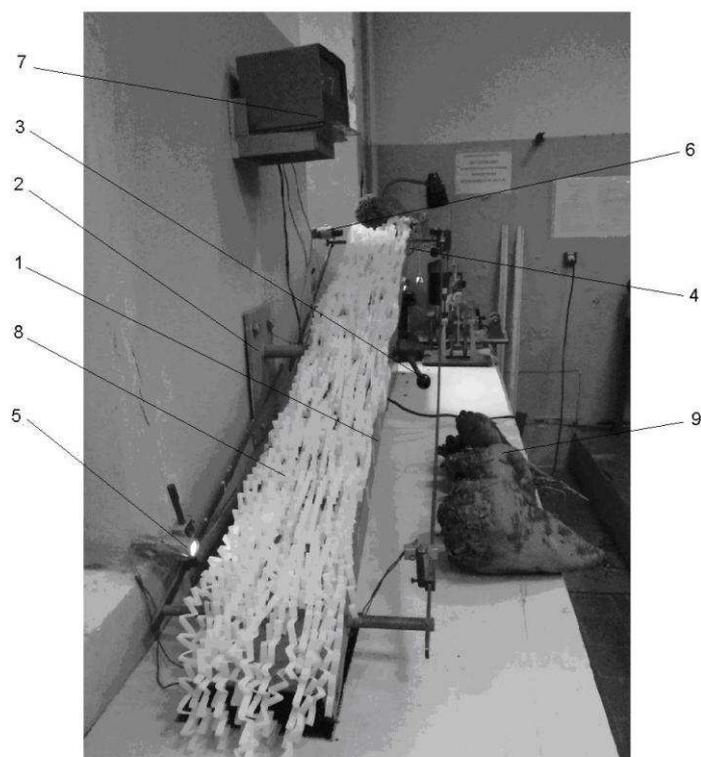
где γ – угол наклона плоскости к горизонту;

S – отрезок пути по наклонной плоскости, пройденный корнеплодом;

t – время движения корнеплода.



а) вид спереди: рабочая поверхность – необработанная сталь



б) вид сбоку: рабочая поверхность – гофрополосная капроновая щетка

Рисунок 3.8 – Общий вид трибометрической установки для определения коэффициентов трения

Скорость перемещения корнеплодов 9 по наклонной плоскости поддерживалась постоянной и равной 0,4м/с. Точность показаний электронного секундомера $\pm 0,01$ с. Для каждого корнеплода опыт повторяли четыре раза.

3.5 Статистическая обработка экспериментальных данных и оценка точности результатов

Для подавляющего большинства технических исследований закономерности развития явлений можно представить численными величинами, полученными в результате измерений. Надежность результатов исследований зависит от точности выполнения экспериментальных исследований. Результаты измерений всегда содержат некоторую ошибку, от величины которой зависит их достоверность, т.к. полученные значения могут лежать в пределах возможной ошибки опыта. Чтобы уменьшить ее влияние, необходимо каждое измерение повторять несколько раз. Чем больший разброс результатов эксперимента и чем большую надежность опыта необходимо получить, тем больше должно быть повторностей.

Повторность проб или количество опытов при исследовании силы взаимодействия гофрированных полосок P с поверхностями очистки, показателя эффективности очистки E , потерь массы кормовых корнеплодов в процессе очистки p определяли по таблице В.И. Романовского [47, с. 60] и формуле:

$$n = \left[\frac{t_{\alpha} v}{S_1} \right]^2 \quad (3.11)$$

где n – количество опытов;

v – ожидаемый коэффициент вариации;

S_1 – показатель точности опыта или относительная ошибка средней;

t_{α} – критерий Стьюдента, определяемый из таблицы [33, 47].

При обычных исследованиях в технике для нахождения влияния различных факторов достаточна доверительная вероятность 0,7...0,9, а

допустимую ошибку можно принять равной наибольшей возможной статистической, т.е. в пределах $\pm 3\sigma$ [33, 47, 50, 121]. Тогда согласно таблицы В.И. Романовского, минимальное количество повторностей $n_{min} = 2$. При проведении экспериментов примем $n = 4$, что улучшит надежность измерений.

Для оценки истинного значения признака принимают его среднее значение [47, с. 30]:

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j \quad (3.12)$$

где y_1, y_2, y_n – значения отдельных измерений;

N – общее количество измерений.

Коэффициент вариации v определяли по формуле:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{y}} \quad (3.13)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение отдельного измерения (стандарт), определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2}{N - 1}} \quad (3.14)$$

Доверительный интервал среднего значения m_i определяли по формуле:

$$m_i = t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \quad (3.15)$$

Точность опыта P_i определяли по формуле [47, 50]:

$$P_i = \frac{m_i}{\bar{y}} \cdot 100\% \quad (3.16)$$

Опыт считается точным, если $P_i < 2\%$ и удовлетворительным при $P_i < 5\%$.

При исследовании показателей эффективности и потерь корнеплодов при очистке применили многофакторное планирование эксперимента [28, 33, 61, 121, 128, 135] согласно методу Бокса-Бенкина.

Так как процесс механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов от примесей является многофакторным, то он может быть

изображен математической моделью в виде функции [33, 108, 129, 142, 172, 183]:

$$\eta = \varphi(x_1, x_2, x_3, \dots, x_i) \quad (3.17)$$

где η – выход процесса, т.е. параметр, подлежащий изучению и оптимизации;
 x_1, x_2, x_3, x_i – известные и изучаемые переменные факторы, которые можно варьировать при постановке эксперимента.

Уравнение математической модели (3.17) может быть приблизительно выражено функцией отклика, которая в методе Бокса-Бенкина [121, 135] аппроксимируется степенным рядом:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 \dots \quad (3.18)$$

где b_i – выборочные оценки коэффициентов регрессии;
 \hat{y} - выборочная оценка для критерия оптимизации;
 x_i, x_j – кодированные значения факторов.

Кодирование изучаемых факторов осуществляем с помощью упрощения записи условий эксперимента и обработки наблюдаемых значений функции отклика:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= \frac{X_i - X_{i0}}{J} \\ J &= \frac{X_i^B - \tilde{O}_i^H}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

где x_i – кодированное значение фактора в интервале от +1 до -1;
 X_i – значение независимой переменной в натуральном масштабе;
 X_{i0} – значение независимой переменной на нулевом уровне;
 J – интервал варьирования независимой переменной (фактора);
 X_i^B, X_i^H – значение независимой переменной, соответственно, на верхнем и нижнем уровнях.

Значения коэффициентов регрессии в закодированных величинах показывают их влияние на выходной параметр.

Коэффициенты регрессии определяются по формуле:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{y}_u; b_i = \frac{1}{N} \sum x_{iu} \bar{y}_u; b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u \quad (3.20)$$

где N – количество повторностей (опытов), т.е. число строк в матрице планирования;

\bar{y}_u – среднее арифметическое значение функции отклика (параметра оптимизации) в u – й строке;

x_{iu}, x_{ju} – значение факторов в u – том опыте.

Выборочные оценки коэффициентов регрессии получаем путем статистической обработки результатов экспериментальных данных с помощью программы “STATISTICA Plus” версия 6 на компьютере АСРІ с базой х86.

Перед обработкой результатов эксперимента по определению показателей эффективности очистки, для устранения ошибок в опытах, результаты проверяли по критерию Стьюдента [28, 33, 47]:

$$t_p = \frac{y_{ju} - \bar{y}_j}{S_j} \geq t_{0,05;f} \quad (3.21)$$

где y_{ju} – сомнительный результат (промах) в j – ом опыте u – той повторности;

\bar{y}_j – среднее значение j – го опыта;

S_j – среднеквадратическая ошибка (отклонение) в j – ом опыте;

$t_{0,05;f}$ – табличное значение критерия Стьюдента при вероятности $P = 95\%$ (уровне значимости $\alpha = 0,05$) и степени свободы $f = n-1$.

Для оценки рассеивания результатов опытов и нахождения среднеквадратической ошибки S_j в каждом опыте определяем дисперсию критерия оптимизации:

$$S_j^2 = \frac{1}{N(m-1)} \cdot \sum_{u=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ju} - \bar{y}_u)^2 \quad (3.22)$$

где y_{ju} – значение критерия оптимизации в j – ом опыте u – той повторности;

m – число повторностей одного опыта.

После получения опытных данных необходимо проверить их воспроизводимость. Для оценки воспроизводимости процесса, т.е. для проверки

однородности дисперсий в опытах используем коэффициент равноточности Кохрена [33, 47, 121]:

$$G_p = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} \leq G_{tab(0,05;N,f_u)} \quad (3.23)$$

где $G_{tab(0,05;N,f_u)}$ – табличное значение критерия Кохрена при 5% - ном уровне значимости, при числе опытов N и числе степеней свободы $f_u = m - 1$ с числом повторностей m ;

$S_u^2, S_{u \max}^2$ – дисперсия на u – том уровне и ее максимальное значение.

В случае, если $G_p < G_{tab}$, то опыты считаются равноточными, а дисперсии однородными – рассеивание результатов опытов суть одного порядка.

В целом ошибка опыта определяется формулой:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2 \quad (3.24)$$

Проверку адекватности уравнения регрессии, т.е. пригодности уравнения регрессии для описания исследуемого процесса, производили по критерию Фишера [47, 121]:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} \leq F_{tab(0,05;f_{ad};f_y)} \quad (3.25)$$

где $S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum_{u=1}^N (y - \bar{y}_u)^2$ - дисперсия адекватности;

y – значения функции отклика, вычисленные по уравнению регрессии;

$f_{ad} = N - k - 1$ – число степеней свободы дисперсии адекватности при количестве факторов равному k ;

$f_y = N(m - 1)$ – число степеней свободы дисперсии воспроизводимости;

F_{tab} – табличное значение критерия Фишера.

Если $F_p < F_{tab}$ при принятом уровне значимости $\alpha = 0,05$ и соответствующих числах степеней свободы f_{ad} и f_y , то гипотеза адекватности полученной модели принимается.

Проведя проверку адекватности, необходимо оценить значимость коэффициентов регрессии с помощью t – критерия Стьюдента [47, 121, 128, 135]. Коэффициент регрессии считаем значимым, если:

$$|b_i| \geq t_{tab(0,05;f_y)} \cdot \frac{S_y}{\sqrt{N}} \quad (3.26)$$

где $t_{tab(0,05;f_y)}$ – табличное значение критерия Стьюдента при 5% - ом уровне значимости и числе степеней свободы f_y .

Для определения тесноты связи значения функции и аргумента, а также между аргументами, проводим корреляционный анализ [28, 33, 47]. Определяем коэффициент корреляции R между величинами x и y :

$$R_{xy} = \frac{K_{xy}}{S_x S_y} \quad (3.27)$$

где S_x, S_y – среднеквадратичное отклонение величин x и y ;

K_{xy} – корреляционный момент.

Если $R_{xy} = 0$, то величины не коррелированы, если $R_{xy} < 0,3$ – корреляционная зависимость слабая, $R_{xy} = 0,3 \dots 0,7$ – средняя, а $R_{xy} > 0,7$ – сильная [28, 47]. При этом среднеквадратическая ошибка коэффициента корреляции определяется формулой:

$$S_R = \sqrt{\frac{1 - R_{xy}^2}{N - 2}} \quad (3.28)$$

Связь между величинами существенна при условии, что расчетный коэффициент Стьюдента (Госсета) превышает его табличное значение [128, 135]:

$$t_R = \frac{R_{xy}}{S_R} \geq t_{tab} \quad (3.29)$$

При одновременном действии нескольких величин x и z на выходной параметр оптимизации Y для определения тесноты связи используем множественный параметр корреляции:

$$R_{y,xz} = \sqrt{\frac{R_{yx}^2 + R_{yz}^2 - 2R_{yx}R_{yz}R_{xz}}{1 - R_{xz}^2}} \quad (3.30)$$

$R_{y, xz}$ является величиной положительной и изменяется от 0 до 1: при $R_{y, xz} = 0$ отсутствует линейная связь между величинами, но возможна при этом нелинейная связь. При $R_{y, xz} = 1$ существует линейная связь, а все экспериментальные данные лежат в одной плоскости, которая и является поверхностью отклика.

Область экстремума значений параметра оптимизации изучаем методом двумерных сечений [28, 47, 121, 135]., в котором уравнение регрессии вначале дифференцируется по соответствующим факторам, а полученные частные производные приравниваются к нулю:

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \left. \begin{array}{l} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 0 \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial y}{\partial x_n} = 0 \end{array} \right\} \quad (3.31)$$

Решив систему уравнений (3.31), получаем оптимальные значения факторов. Для дальнейшего исследования двумерного сечения запишем уравнение в каноническом виде:

$$K^2 + I_1 K + I_2 = 0 \quad (3.32)$$

Коэффициенты канонического уравнения (3.32) определяются выражением:

$$\left. \begin{array}{l} I_1 = -(b_{ii} + b_{jj}) \\ I_2 = b_{ii} b_{jj} - 0,25 b_{ij}^2 \end{array} \right\} \quad (3.33)$$

где b_{ii} , b_{jj} , b_{ij} – соответствующие коэффициенты уравнения регрессии.

Тангенс угла поворота осей определяют по формуле:

$$tg 2\beta = \frac{b_{ij}}{b_{ii} - b_{jj}} \quad (3.34)$$

В соответствии с вышеприведенными формулами проводят корреляционный и регрессионный анализ, а с помощью метода двумерных сечений при известном уравнении регрессии, определяют значения влияющих

факторов, при которых достигается экстремальное значение выходного параметра.

3.5 Результаты экспериментальных исследований процесса механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов

3.5.1 Исследование размерно-массовых характеристик и механико-технологических свойств кормовых корнеплодов

При создании устройств механической (безводной) очистки необходимо иметь данные по механико-технологическим свойствам корнеплодов как об объектах очистки. Результаты исследования физико-механических и технологических свойств корнеклубнеплодов приведены в многочисленной литературе [43, 97, 98, 103, 111, 115, 127, 152, 161, 167, 176, 191]. Данные этих авторов свидетельствуют о том, что характеристики кормовых корнеклубнеплодов колеблются в широких пределах в зависимости от сорта, почвенно-климатических условий, урожайности, агротехники возделывания и т.д. В связи с этим для обоснования характеристик объектов исследования проводилось изучение некоторых механико-технологических свойств корнеплодов кормовой свеклы сорта Эккендорфский желтый и сахарной свеклы сорта Юбилейный. Результаты исследования характеристик корнеплодов представлены в таблице 3.2 и на рисунках 3.9 и 3.10. Из таблицы 3.2 и рисунка 3.9 и 3.10 можно заключить, что выявленные размерно-массовые характеристики являются типичными для корнеплодов данных сортов и хорошо согласуются с данными других авторов [43, 95, 113, 124, 174]. Полученные результаты могут быть использованы как исходные при проектировании устройств механической (безводной) очистки корнеплодов.

При изучении микрогеометрии поверхностей корнеплодов установлено, что диапазон изменения глубины неровностей (канавок и углублений) составил

от 2,6 до 11,2 мм, масса почвы в неровностях и корешках в среднем составила от 0,02 до 0,05 кг (2,2...4,6% к массе корнеплода).

Таблица 3.2 – Механико-технологические свойства корнеплодов

Показатели	Кормовая свекла (урожайность 552 ц/га)				Сахарная свекла (урожайность 340 ц/га)			
	сред- нее значе- ние \bar{y}	стан- дарт , σ	средн. квadra тич. ошиб- ка, m	точ- ность опыта, P	сред- нее значе- ние \bar{y}	стан- дарт , σ	средн. квadra тич. ошиб- ка, m	точ- ность опыта, P
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр, м	0,105	0,0344	0,0034	3,3	0,078	0,0282	0,003	3,62
Длина, м	0,204	0,021	0,002	1,03	0,201	0,066	0,007	3,48
Масса, кг	1,388	0,548	0,055	3,96	0,435	0,252	0,025	5,75
Масса почвы в неровно- стях и корешках, кг	0,052	0,0206	0,0021	4,04	0,022	0,0114	0,0011	5,2
Масса корешков на корне, кг	0,019	0,012	0,0012	6,31	0,008	0,0043	0,0004	5,38
Масса растительных остатков на корне, кг	0,026	0,0113	0,0011	4,23	0,011	0,0062	0,0006	5,64
Глубина неровностей и канавок, мм	4,9	1,311	0,1311	2,67	7,3	4,066	0,4066	5,57

Масса корешков на корнеплодах в среднем составила 0,008...0,019 кг (1,2...2,3% к массе корнеплода); масса растительных остатков в среднем составила 0,011...0,026 кг. Общая загрязненность корнеплодов сахарной свеклы налипшими примесями практически во всех случаях больше, чем корней кормовой свеклы (таблица 3.2).

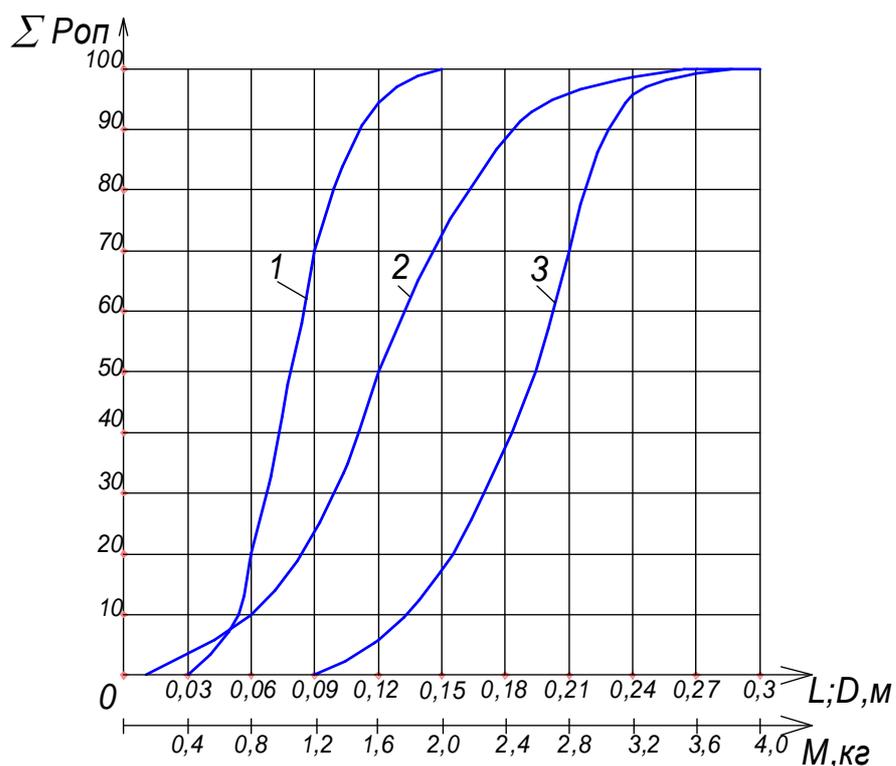


Рисунок 3.9 – Кумуляты (полигоны накопленных частот) распределения корнеплодов кормовой свеклы сорта Эккендорфский желтый, выборка $n = 100$ шт: 1 – по диаметру; 2 – по массе; 3 – по длине

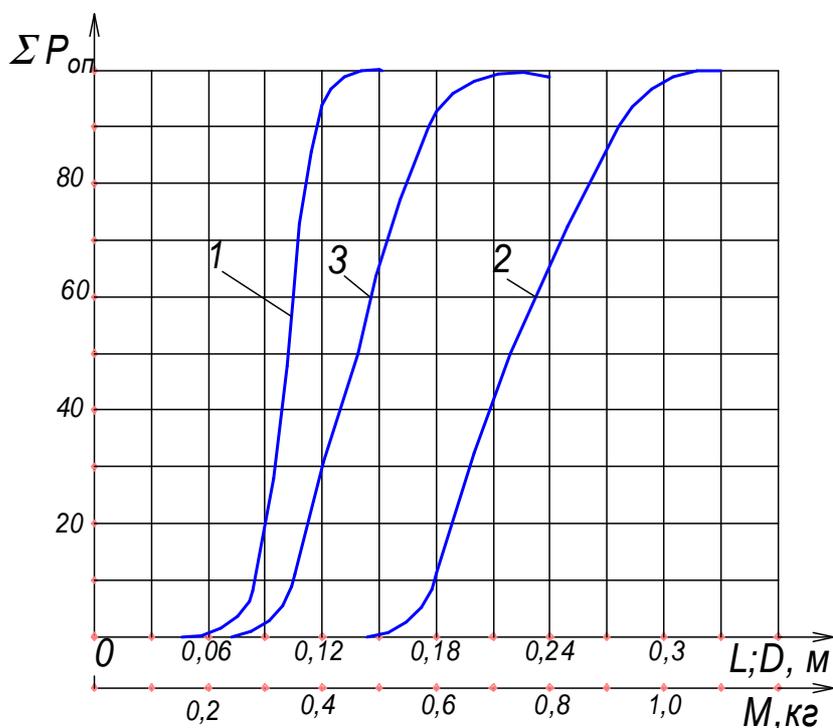


Рисунок 3.10 – Кумуляты (полигоны накопленных частот) распределения корнеплодов сахарной свеклы сорта Юбилейный: 1 – по диаметру; 2 – по длине; 3 – по массе

Установлено, что кормовая свекла имеет более гладкую поверхность, а связанная почва равномерно распределена по заглубляемой в землю части поверхности корнеплода – $1/3 \dots 1/2$ его длины (рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Форма корнеплодов кормовой свеклы сорта Экендорфский желтый и характер распределения налипших примесей по ним (после ручной уборки урожая 2014г.)

Наличие у сахарной свеклы более развитой корневой системы приводит к тому, что основная часть связанной почвы сосредоточена на корневых отростках и в межкорешковом пространстве: количество этих примесей может достигать 90...95% от общей массы налипших загрязнений (рисунок 3.12). Общая же начальная загрязненность налипшими примесями для корнеплодов кормовой свеклы составила в среднем 7...10%, для сахарной свеклы – 3...15%, а влажность налипших примесей была, соответственно, 8...12% и 10...19%.

При изучении формы корнеплодов установлено, что корнеплоды кормовой свеклы имеют мешкоподобную форму, которую можно аппроксимировать цилиндром с двумя усеченными конусами, примыкающими

большими основаниями к торцам цилиндра с осью вращения, совпадающей с продольной осью корнеплода.



Рисунок 3.12 – Форма корнеплодов сахарной свеклы сорта Юбилейный и характер распределения налипших примесей по ним (после ручной уборки 2014г.)

Корнеплоды сахарной свеклы имеют коническую форму, которую можно аппроксимировать конусом с примыкающей к его большему основанию полусферой (рисунок 3.12).

В экспериментах также, на специальной трибометрической установке (рисунок 3.4), определялись коэффициенты трения скольжения покоя загрязненных корнеплодов кормовой и сахарной свеклы по необработанной стали, резине и плоской наклонной щеточной поверхности, образованной гофрированными капроновыми полосками. Скорость перемещения поддерживалась постоянной и равной 0,4 м/с. Результаты определения коэффициентов трения приведены в таблице 3.3. Для загрязненных корнеплодов кормовой и сахарной свеклы значение коэффициента трения скольжения по гофрированным капроновым полоскам колебалось от 1,2 до 1,7.

Это объясняется тем, что в ходе взаимодействия с корнеплодами гофрированная щеточная поверхность испытывает большие упругие деформации.

Таблица 3.3 – Коэффициенты трения скольжения покоя корнеплодов по различным поверхностям

№ n/n	Вид поверхности трения	Корнеплоды	
		кормовая свекла	сахарная свекла
1	Необработанная сталь	0,58	0,65
2	Резина	0,77	0,86
3	Гофрополосная капроновая щетка	1,47	1,56

Очищаемые корнеплоды не только деформируют ее, но и образуют в ней разрывы, исчезающие одновременно с прекращением контакта между корнями и щеткой. Силы упругости сдеформированных гофрополосок увеличивают силу трения, вызванную нормальным давлением от веса вышележащих корнеплодов, противодействуют их скольжению по поверхности очистки и создают большее суммарное сопротивление движению, чем при скольжении корнеплода по материалу гофрополосок. Кроме того, для корнеплодов кормовой и сахарной свеклы наблюдается увеличение коэффициента трения скольжения по необработанной стали, соответственно, от 0,5 до 0,6 и от 0,6 до 0,7 при уменьшении массы корнеплода [84].

3.5.2 Влияние скорости скольжения гофрощеточной полоски, ее длины и радиальной деформации на силу нормального давления

Эффективность процесса механической (безводной) очистки корнеплодов зависит как от прочностных свойств и объема налипших загрязнений, характера их распределения и микрогеометрии поверхностей корней, так и от силы динамических воздействий рабочих элементов очистителя на них. Сила

взаимодействия P_N гофрополосного ворса с поверхностями очистки определяется материалом и моментом инерции J , зависящим от размеров поперечного сечения гофрополосок (рисунок 3.13).

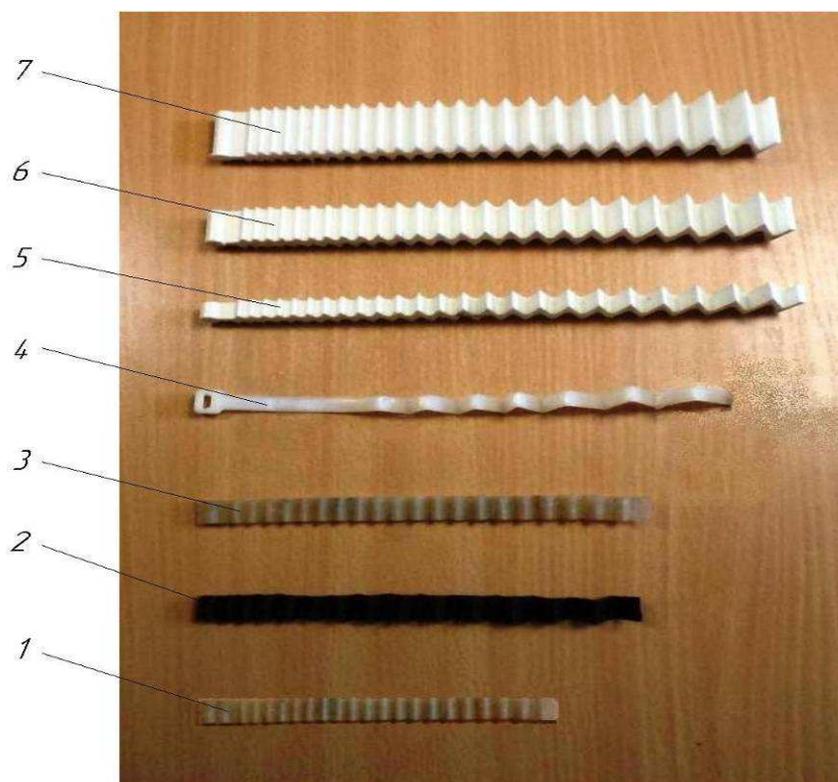


Рисунок 3.13 – Виды исследуемого гофрополосного щеточного ворса:
 1 - $L_2 = 160$ мм (капрон); 2 - $L_2 = 200$ мм (резина); 3 - $L_2 = 200$ мм (капрон); 4 - $L_2 = 240$ мм, (капрон); 5 - $L_2 = 280$ мм, $b = 15$ мм (эластан); 6 - $L_2 = 280$ мм, $b = 25$ мм (эластан); 7 - $L_2 = 280$ мм, $b = 35$ мм (эластан)

При выборе материала гофрополосного ворса и его размеров нами учитывался целый ряд показателей, основными из которых являлись следующие:

а) изгибная жесткость $H = EJ$ и относительная жесткость $H_{отн} = EJ / l_2$ (где l_2 – длина гофрополоски), определяющие необходимую силу взаимодействия гофрополосного ворса с поверхностями очистки по условиям счесывания налипших примесей (1.3);

б) минимум величины радиальной деформации ворса;

в) износоустойчивость;

г) стабильность физико-механических свойств ворса при изменении температуры, влажности и других внешних воздействий;

д) копирование возможных неровностей очищаемых поверхностей;

е) качественная очистка поверхностей корнеплодов.

На лабораторной установке (рисунок 3.2) нами были определены нормальные усилия P_N упругодеформированных вращающихся гофрополосок различных геометрических размеров из капрона, эластана и резины (рисунок 3.13). Линейная скорость скольжения гофрополоски по поверхности цилиндра с тензодатчиками составила 1...6м/с, время контакта гофрополоски с единичным тензодатчиком составило 0,002...0,006с в зависимости от ее угловой скорости и расположения тензодатчика на цилиндре (рисунок 3.14).

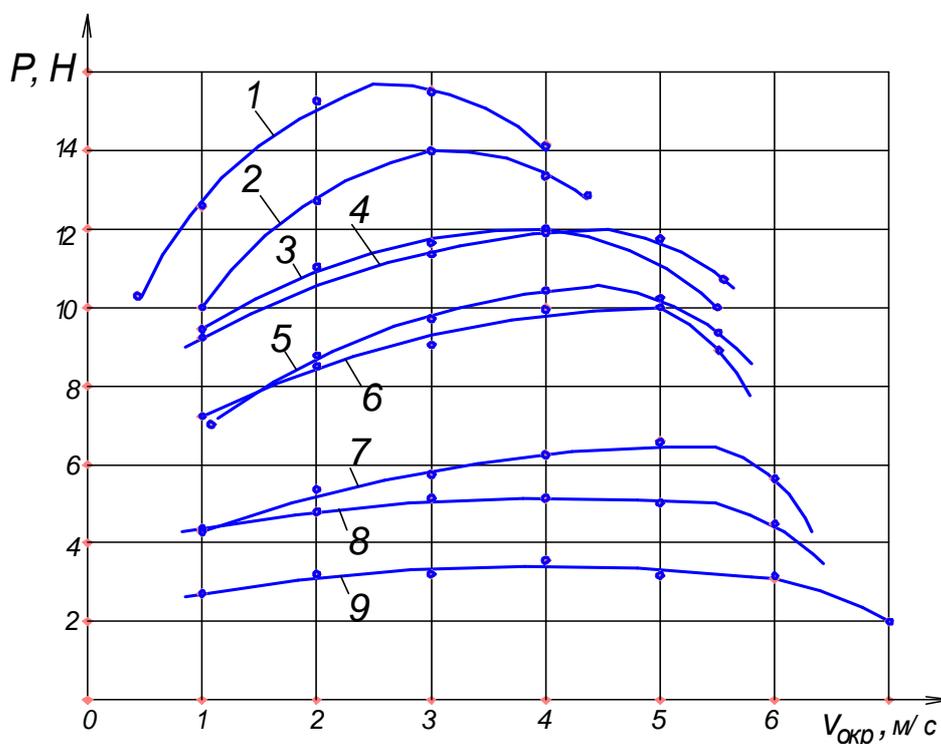


Рисунок 3.14 – Зависимость силы нормального давления гофрированной полоски от скорости ее скольжения ($v_{окр}$), ее длины (L_2) и радиальной деформации (ΔR):

1 - $L_2 = 160\text{мм}$, $\Delta R = 50\text{мм}$; 2 - $L_2 = 160\text{мм}$, $\Delta R = 30\text{мм}$; 3 - $L_2 = 200\text{мм}$, $\Delta R = 50\text{мм}$; 4 - $L_2 = 200\text{мм}$, $\Delta R = 30\text{мм}$; 5 - $L_2 = 240\text{мм}$, $\Delta R = 50\text{мм}$; 6 - $L_2 = 240\text{мм}$, $\Delta R = 30\text{мм}$; 7 - $L_2 = 280\text{мм}$, $\Delta R = 50\text{мм}$; 8 - $L_2 = 280\text{мм}$, $\Delta R = 30\text{мм}$; 9 - $L_2 = 200\text{мм}$, $\Delta R = 50\text{мм}$ (резина)

Анализ зависимости силы нормального давления от скорости скольжения гофрополоски по поверхности очистки показывает, что при достаточной для счесывания налипших примесей (налипшая почва, растительные остатки) силе $P_N = 10...12$ Н рациональные конструктивные параметры гофрированных полосок находятся в пределах: длина гофрополоски $L_2 = 200...240$ мм, ширина $b = 10...15$ мм, толщина $\delta = 1,5...3$ мм, угол гофрировки $\gamma = 40...45^\circ$, материал – капрон, длина боковой стороны гофра 20...30 мм. Лабораторными исследованиями установлено, что гофрированные полоски из резины, а также капроновые гофрированные полоски толщиной менее 1,5...2 мм и шириной менее 5 мм, гофрополоски с углами гофрировки, близкими к 90° , из-за относительно низкой изгибной жесткости, при прочих постоянных условиях, создают удельные давления, недостаточные для разрушения и счесывания налипших примесей с поверхностей очистки. Повышение сил нормального давления на поверхность очистки может быть достигнуто увеличением момента инерции гофрополос, уменьшением угла гофрировки гофрополос, повышением их жесткости (использованием капрона и эластана в качестве материала гофрополос), изменением кинематических режимов работы установки. Дальнейшее увеличение толщины (свыше 3мм), ширины (свыше 15мм), угла гофрировки (свыше 60°) капроновых полос нецелесообразно, во-первых, из-за недопустимого повышения жесткости и, как следствие, снижения величины радиальной деформации гофрополосного ворса (это сводит количество очистных гофр полосок, находящихся в контакте, к минимуму); во-вторых, увеличение площади контакта гофрополосок с поверхностью очистки приводит к уменьшению местных удельных давлений, т.е. к снижению эффективности счесывания. Кроме того, с увеличением их толщины, возникает опасность повышенного износа гофрополосок, что также определяет правомерность приведенных выше результатов. При необходимой величине радиальной деформации $\Delta R = 30...50$ мм (минимум 3...5 очистных гофра единичной полоски в контакте) гофрированные капроновые полоски для очистки корнеплодов должны быть не короче 200 мм.

По результатам проведенных экспериментов нами была разработана техническая документация и изготовлена пресс-форма для получения гофрированных полосок криволинейной формы «пильчатого профиля» термическим способом с обоснованными размерами [99, 100] (рисунок 3.15).



1 - верхняя часть пресс-формы; 2 - основание пресс-формы; 3 – фиксаторы; 4 – гофрированные полоски

Рисунок 3.15 – Вид общий пресс-формы для изготовления гофрощеточных полосок термическим способом

На основании предварительных лабораторных исследований были выбраны следующие параметры гофрощеточных рабочих органов очистителя: материал гофрированных полосок – капрон, форма гофрощетки – цилиндрическая, диаметр сердечника щетки – 80...100 мм, внешний диаметр гофрощеточного барабана – 400...600 мм, толщина и ширина гофрополосок, соответственно, - 1,5...3 мм и 5...10 мм, угол гофрировки полосок – 40...45°, тип крепления гофрополосок к сердечнику – шарнирный, свободная длина гофрополосок в неупругодеформированном состоянии – 200...240 мм, скорость скольжения гофрополосок по поверхности очистки – 3...5 м/с, диаметр и шаг расположения опорных дисков по длине барабана, соответственно, 200...300 мм и 80...160 мм, высота и количество

эллиптических утолщений на дисках, соответственно, 0...30 мм и 2..4 шт, зазор между гофрощеточными барабанами и заслонкой – 0...50 мм, плотность набора гофрополосного ворса – 0,08...0,25 шт/см².

С учетом вышеприведенных данных, задавшись производительностью 5...7 т/ч, был изготовлен опытный образец гофрощеточного очистителя (рисунок 3.3) со следующими конструктивными параметрами: длина рабочей части – 1,5 м; количество гофрощеточных барабанов – 4 шт; диаметр гофрощеточного барабана – 500 мм; угол наклона очистителя к горизонту – до 15°; угол подъема боковых барабанов – до 60°; количество регулируемых заслонок – 1...3 шт.

В ходе лабораторных исследований опытного образца определялось влияние частоты вращения гофрощеточных барабанов и плотности набора гофрополосного ворса на эффективность очистки корнеплодов. Опыты проводили с каждым типом гофрощеточных барабанов на пяти скоростных режимах в интервале изменения частот 10,46...31,4 с⁻¹.

Из полученных данных (рисунок 3.16 и 3.17) видно, что с увеличением частоты вращения барабанов (ω_6) и плотности набора гофрополосного ворса (p) эффективность очистки корнеплодов (E) возрастает – это объясняется увеличением интенсивности воздействия рабочих элементов на обрабатываемые поверхности корнеплодов и повышением жесткости гофрополосного ворса за счет действия центробежных сил и взаимодействия их друг с другом.

В ходе опытов определялось также влияние высоты эллиптических утолщений (h_y) и их количества на дисках (n_y) на эффективность очистки корнеплодов от налипших примесей (рисунок 3.18).

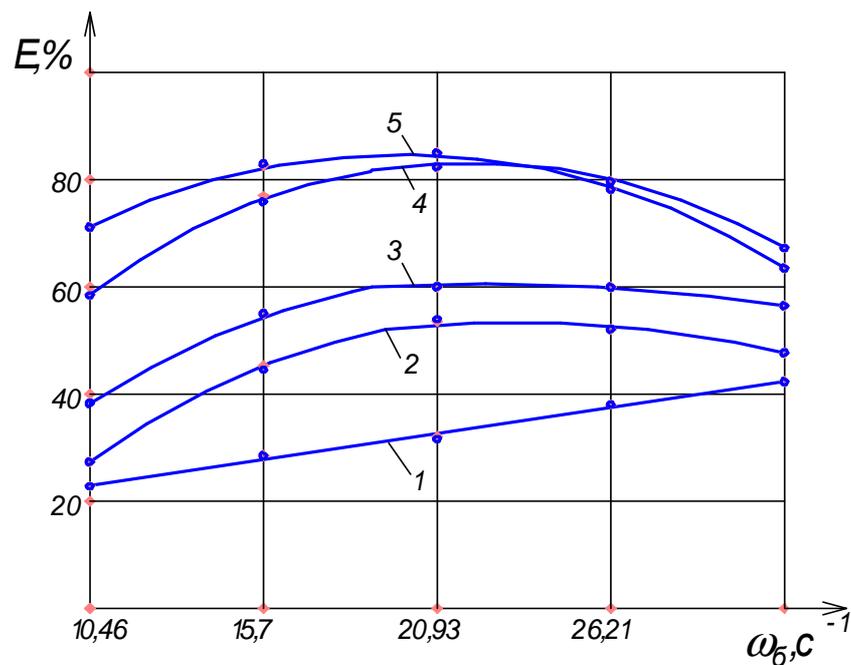


Рисунок 3.16 – Зависимость эффективности очистки корнеплодов от частоты вращения гофрощеточных барабанов ($z_{\delta} = 4$ шт): 1 – $p = 0,08$ шт/см²; 2 – $p = 0,12$ шт/см²; 3 – $p = 0,16$ шт/см²; 4 – $p = 0,2$ шт/см²; 5 – $p = 0,24$ шт/см²

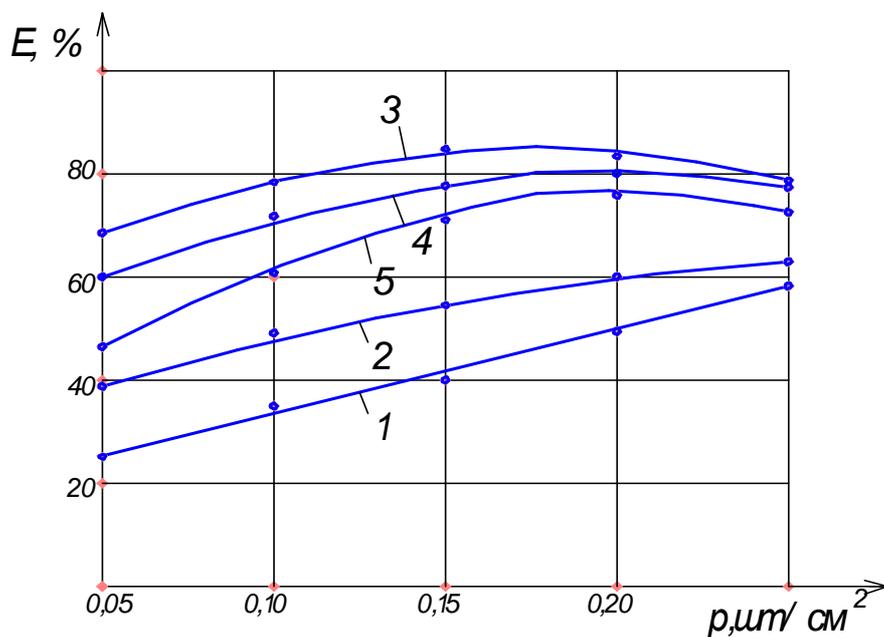


Рисунок 3.17 – Зависимость эффективности очистки корнеплодов от плотности набора гофрополосного ворса: 1 – $\omega_{\delta} = 10,46$ с⁻¹; 2 – $\omega_{\delta} = 15,7$ с⁻¹; 3 – $\omega_{\delta} = 20,93$ с⁻¹; 4 – $\omega_{\delta} = 26,2$ с⁻¹; 5 – $\omega_{\delta} = 31,4$ с⁻¹

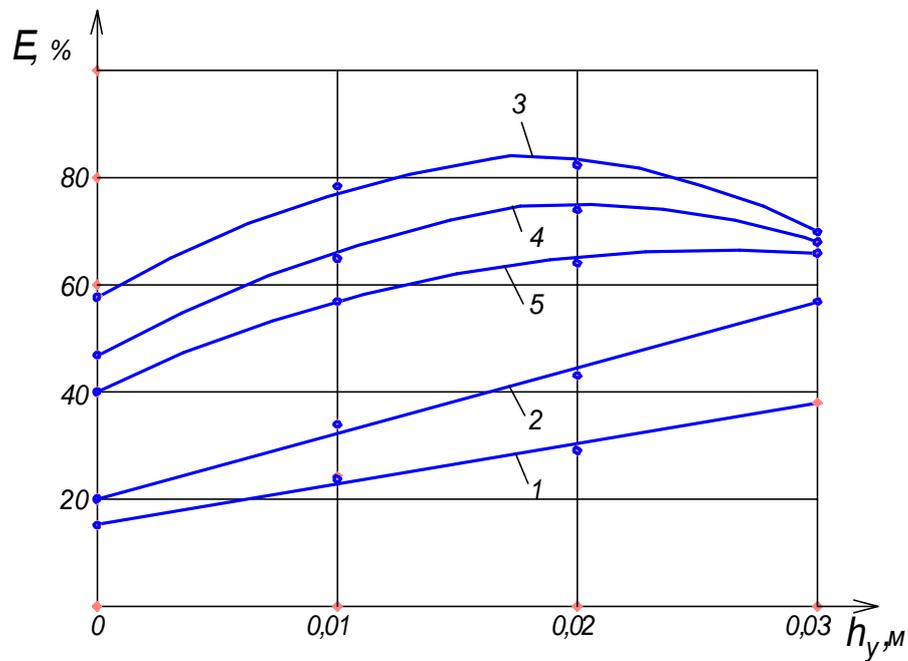


Рисунок 3.18 – Зависимость эффективности очистки корнеплодов от высоты эллиптических утолщений на дисках при ($n_y = 2$ шт): 1 – $\omega_{\delta} = 10,46\text{с}^{-1}$; 2 – $\omega_{\delta} = 15,7\text{с}^{-1}$; 3 – $\omega_{\delta} = 20,93\text{с}^{-1}$; 4 – $\omega_{\delta} = 26,2\text{с}^{-1}$; 5 – $\omega_{\delta} = 31,4\text{с}^{-1}$

При этом использовались эллиптические утолщения различной высоты (от 0 до 0,03 м). Из полученных данных видно, что с увеличением высоты эллиптических утолщений и ростом частоты вращения гофрошечных барабанов показатель эффективности очистки E корнеплодов возрастает. Выявленная закономерность объясняется тем, что в данном случае возрастает число соударений корнеплодов крупной и средней фракции об эллиптические утолщения на дисках, а также их скорость и сила. За счет возрастающих динамических нагрузок и увеличения трения корнеплодов о диски и утолщения на них, связанная почва частично переходит в разряд свободной и просеивается в зазоры между дисками и гофрополосным ворсом, т.е. эффективность очистки повышается. Однако при увеличении угловой скорости вращения до $20,93\text{ с}^{-1}$ и увеличении количества утолщений на каждом диске до 4, при прочих равных условиях, и возрастании высоты утолщений до 0,025 м наблюдается некоторое снижение эффективности очистки корнеплодов. Данное явление объясняется снижением продолжительности и числа контактов корнеплодов с дисками и

гофрополосным ворсом, вследствие возросших ударных нагрузок, подбрасывающих корнеплоды на определенную высоту, т.е. несмотря на возросшие силу и скорость соударений, эффективность очистки снижается. При увеличении же угловой скорости вращения барабанов с $20,93$ до $31,4 \text{ с}^{-1}$ наблюдается снижение эффективности очистки корнеплодов с 68 до 63% при двух гофрощеточных барабанах, с 65 до 54% при трех и с 79 до 58% при четырех барабанах (рисунок 3.18) и величине угла подъема боковых барабанов $\alpha_{\delta} = 60^{\circ}$. Характер влияния количества гофрощеточных барабанов и угла подъема боковых барабанов на показатель эффективности очистки (рисунок 3.19) аналогичен влиянию частоты вращения барабанов, но интенсивность изменений его в этом случае невелика.

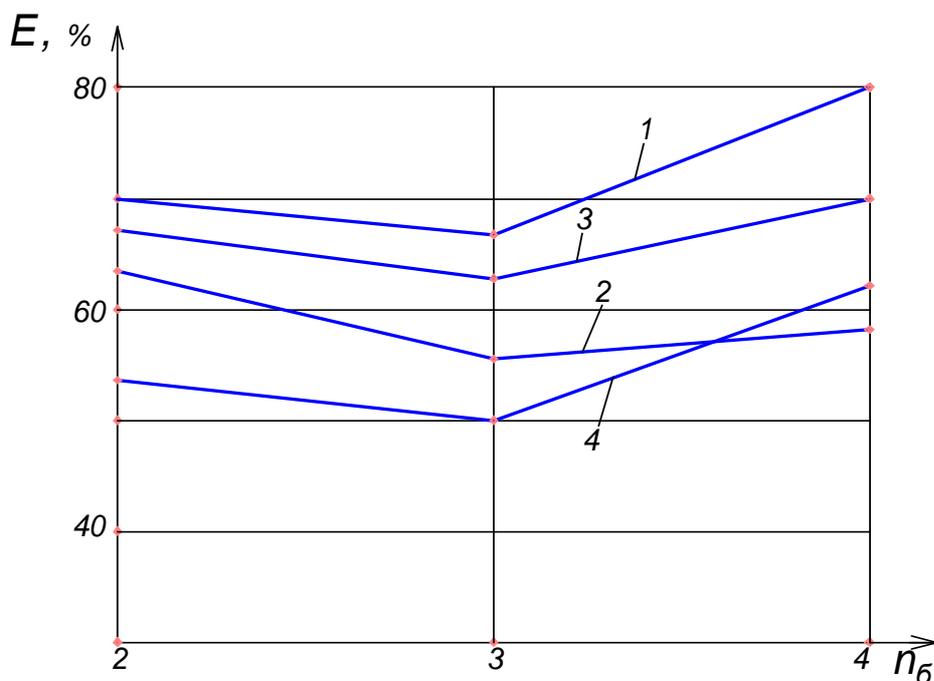


Рисунок 3.19 – Зависимость эффективности очистки корнеплодов от количества гофрощеточных барабанов при $n_y = 3$, $h_y = 0,025 \text{ м}$: 1 – $\omega_{\delta} = 20,93 \text{ с}^{-1}$, $\alpha_{\delta} = 60^{\circ}$; 2 – $\omega_{\delta} = 31,4 \text{ с}^{-1}$, $\alpha_{\delta} = 60^{\circ}$; 3 – $\omega_{\delta} = 20,93 \text{ с}^{-1}$, $\alpha_{\delta} = 40^{\circ}$; 4 – $\omega_{\delta} = 31,4 \text{ с}^{-1}$, $\alpha_{\delta} = 40^{\circ}$

Объясняется это тем, что разнонаправленное движение корнеплодов от середины к краям осуществляется одновременно не более чем по двум гофрощеточным барабанам с последующим свободным скатыванием вниз к регулируемой заслонке. Но на производительность установки общее

количество гофрощеточных барабанов и величина угла подъема боковых барабанов оказывают большое влияние, т.к. объем транспортируемой массы внутри очистителя напрямую зависит от числа рабочих органов и их взаимного расположения.

По результатам анализа установлено, что рациональная угловая скорость вращения гофрощеточных барабанов не должна превышать $20,93 \text{ с}^{-1}$ ($n = 200 \text{ об/мин}$), количество гофрощеточных барабанов должно быть четным, кратным двум и располагаться они должны симметрично относительно зоны очистки с углами подъема боковых барабанов в пределах $40 \dots 60^\circ$.

В процессе экспериментальных исследований была установлена наивыгоднейшая длина гофрощеточных барабанов в зависимости от угла их наклона к горизонту (рисунок 3.20). Было установлено, что при малых углах наклона ($1 \dots 3^\circ$) обрабатываемые корнеплоды недостаточно быстро продвигаются вдоль барабанов, имеется тенденция к сгуживанию и явно не будет обеспечиваться необходимая производительность устройства. При увеличении угла наклона гофрощеточных барабанов к горизонту с 12 до 15° количество отделяемых налипших и свободных примесей уменьшается на $20 \dots 30\%$, что объясняется увеличением скорости прохождения корнеплодов по гофрощеточным барабанам, уменьшением времени контакта тел с гофрополосками щеток и друг с другом при их взаимном перетирании. При углах наклона $6 \dots 10^\circ$ необходимая степень очистки достигается при длине гофрощеточных барабанов $L \leq 1,5 \text{ м}$, причем на первом полуметре выделяется почти две трети от общего количества налипших примесей (до 80%), а также солома, растительные остатки, черешки, мелкие твердые примеси (комки, камни) размером $30 \times 30 \times 30 \text{ мм}$ при зазоре между ними $s = 30 \text{ мм}$. На втором полуметре выделяются оставшиеся примеси (до 16%) и на третьем до 5% . Кроме того установлено, что увеличение угла наклона гофрощеточных барабанов к горизонту приводит к интенсивному увеличению производительности, так при увеличении угла наклона от 1 до 10° происходит повышение производительности устройства более чем в три раза.

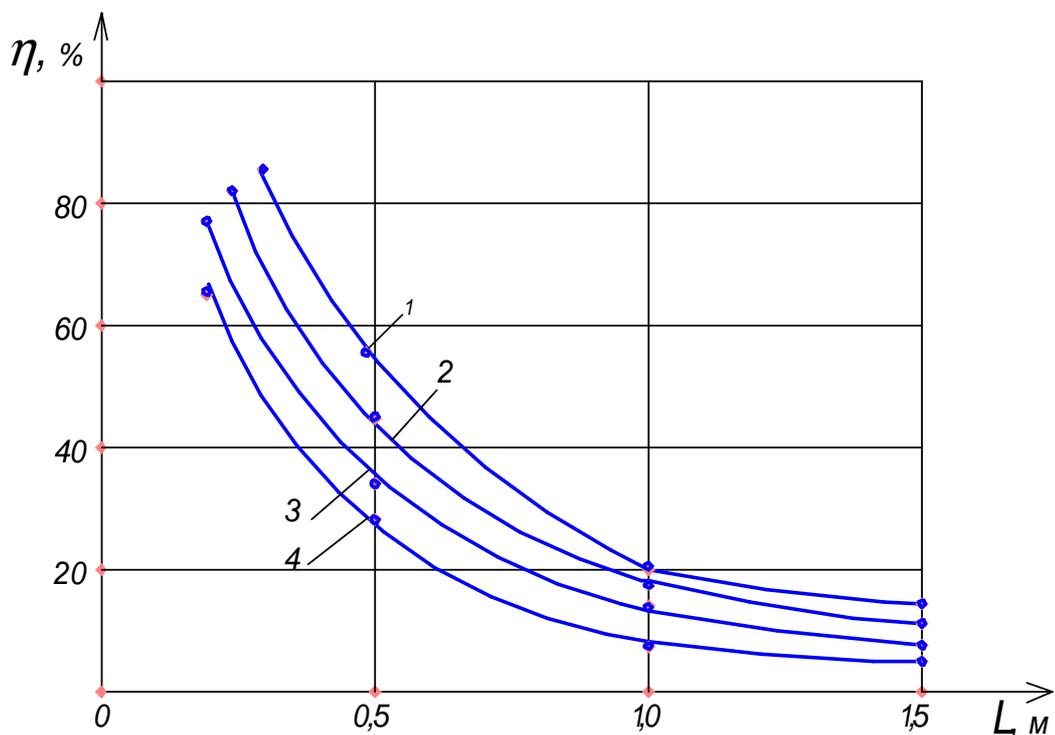


Рисунок 3.20 – Распределение выделенных примесей η по длине тракта очистки в зависимости от угла наклона барабанов α_b :
 1 - $\alpha_b = 6^\circ$; 2 - $\alpha_b = 8^\circ$; 3 - $\alpha_b = 10^\circ$; 4 - $\alpha_b = 12^\circ$

При среднем показателе эффективности очистки в целом по устройству $E = 85\%$ при выбранной длине гофрощеточных барабанов $L \leq 1,5$ м остаточная загрязненность корнеплодов составляет не более 3% при начальной 8...10%. Это отвечает требованиям к загрязненности кормовых корнеплодов и, одновременно, обеспечивает необходимую производительность очистителя.

Как показали экспериментальные исследования, показатель эффективности очистки с ростом зазора между гофрощеточными барабанами и регулируемой заслонкой меняется незначительно. Однако на всех режимах работы устройства, при увеличении зазора s наряду с повышением количества отделяемых свободных примесей (камни, комки, черешки ботвы) довольно интенсивно возрастает количество неправильно отделившихся (провалившихся) корнеплодов, т.е. возрастают потери очищаемых корнеплодов (рисунок 3.21).

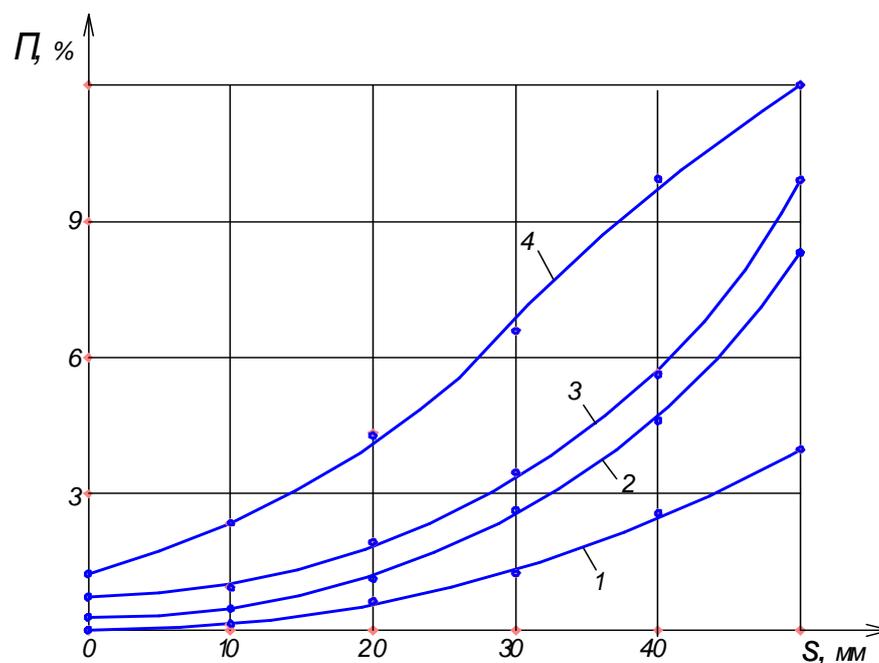


Рисунок 3.21 – Зависимость потерь корнеплодов Π при очистке от величины зазора s : 1 – $\gamma = 10^\circ$, $\omega = 20,93\text{с}^{-1}$; 2 – $\gamma = 6^\circ$, $\omega = 20,93\text{с}^{-1}$; 3 – $\gamma = 10^\circ$, $\omega = 10,46\text{с}^{-1}$; 4 – $\gamma = 6^\circ$, $\omega = 10,46\text{с}^{-1}$;

Необходимо также отметить, что изменение диаметра опорных дисков и шага их размещения по длине гофрощеточных барабанов незначительно влияют на эффективность очистки корнеплодов от налипших примесей. Однако с увеличением диаметра опорных дисков с 200 до 300 мм и уменьшения шага их размещения на валах барабанов со 160 до 80 мм, потери корнеплодов средней и крупной фракции при очистке уменьшаются на 3...5%.

Таким образом, по результатам анализа установлено, что рациональные величины зазора между гофрощеточными барабанами и заслонкой не должны превышать 30 мм, диаметра опорных дисков – не более 300 мм, шага их размещения по длине барабана – не более 80...100 мм.

Рациональной величины диаметра гофрощеточного барабана, которая складывается из удвоенной длины гофрополоски и диаметра сердечника между ними, не установлено, но необходимо отметить, что с ростом диаметра от 400 до 500 мм эффективность очистки, при прочих равных условиях, увеличивается

с 76 до 80%. Рациональная величина диаметра гофрощеточного барабана должна быть не меньше 500 мм.

Выводы

1. Для проверки адекватности полученной в результате теоретических исследований математической модели, описывающей технологический процесс механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов от примесей, нами изготовлено достаточное количество лабораторных образцов рабочих органов гофрощеточного очистителя с различными геометрическими размерами;

2. Установлено, что размерно-массовые характеристики и микрогеометрия используемых в экспериментальном исследовании корнеплодов кормовой свеклы сорта Эккендорфский желтый и сахарной свеклы сорта Юбилейный являются типичными для корнеплодов данных сортов и хорошо согласуются с данными других авторов;

3. Предложена методика экспериментального определения коэффициентов трения скольжения покоя загрязненных корнеплодов кормовой и сахарной свеклы по необработанной стали, резине и плоской наклонной щеточной поверхности, образованной гофрированными капроновыми полосками;

4. Установлено, что сила взаимодействия гофрированных капроновых полосок с поверхностями очистки определяется материалом, размерами поперечного сечения гофрополосок, их линейной скоростью скольжения, длиной и радиальной деформацией;

5. Исследованы зависимости эффективности очистки корнеплодов от частоты вращения гофрощеточных барабанов и плотности набора гофрощеточного ворса, геометрии опорных дисков, количества гофрощеточных барабанов, величины зазора между гофрощеточными барабанами и регулируемой заслонкой;

6. Проведена оценка наивыгоднейшей длины гофрощеточных барабанов, а также производительности очистителя в зависимости от угла их наклона к горизонту;

7. Результаты экспериментальных исследований показывают, что предложенная математическая модель, описывающая технологический процесс механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов от примесей, адекватно описывает реальные процессы и может быть использована при теоретических исследованиях и опытно-конструкторских разработках.

4 ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследования процесса механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов методом планирования многофакторного эксперимента

В соответствии с программой исследований, предусматривающей изучение рабочего процесса гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов путем построения его математических моделей по эффективности очистки и удельной энергоемкости, были проведены экспериментальные исследования согласно методики планирования многофакторного эксперимента. При этом эксперимент разбивается на ряд самостоятельных этапов, первым из которых являются отсеивающие эксперименты с целью выявления тех факторов, которые существенно не влияют на параметры оптимизации.

На основании анализа научной литературы и поисковых экспериментальных исследований выбраны следующие факторы и интервалы их варьирования:

- частота вращения гофрощеточных барабанов (X_1) – 10,46...20,93 с⁻¹;
- диаметр гофрощеточных барабанов (X_2) – 0,4...0,6 м;
- длина очистителя (X_3) – 0,5...1,5 м;
- высота эллиптических утолщений на дисках (X_4) – 0...0,02 м;
- зазор между гофрощеточными барабанами и заслонкой (X_5) – 0...0,05 м;
- угол наклона очистителя к горизонту (X_6) – 6...12°;
- угол подъема боковых гофрощеточных барабанов (X_7) – 30...60°.

Перед проведением опытов строилась матрица планирования отсеивающих экспериментов (таблица 4.1).

Опыты проводились на экспериментальной установке в лаборатории сепарации сыпучих материалов Луганского национального университета имени Тараса Шевченко. В качестве сырья использовались корнеплоды кормовой и сахарной свеклы. Тип загрязняющей почвы – чернозем. Начальная загрязненность связанной и свободной почвой составила 9...13%, влажность налипших примесей 14...16%, загрязненность растительными примесями до 3%.

Таблица 4.1 – Матрица планирования отсеивающих экспериментов

Номер эксперимента	План 2**(7-4) (Матрица планирования отсеивающих экспериментов)								
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2
1	10,46000	0,400000	0,500000	0,020000	0,050000	12,00000	30,00000	79,977	0,14
2	20,93000	0,400000	0,500000	0,000000	0,000000	12,00000	60,00000	83,371	0,226
3	10,46000	0,600000	0,500000	0,000000	0,050000	6,00000	60,00000	83,935	0,268
4	20,93000	0,600000	0,500000	0,020000	0,000000	6,00000	30,00000	84,036	0,283
5	10,46000	0,400000	1,500000	0,020000	0,000000	6,00000	60,00000	85,345	0,32
6	20,93000	0,400000	1,500000	0,000000	0,050000	6,00000	30,00000	85,258	0,388
7	10,46000	0,600000	1,500000	0,000000	0,000000	12,00000	30,00000	85,836	0,399
8	20,93000	0,600000	1,500000	0,020000	0,050000	12,00000	60,00000	87,777	0,402

Столбцы зависимых переменных в таблице 4.1 (Y1 – показатель эффективности очистки, %, Y2 – удельная энергоемкость очистки, кВтч/т) – являются средними значениями параметров оптимизации из четырех повторностей при реализации матрицы планирования отсеивающих экспериментов.

Для проведения отсеивающих экспериментов и выделения существенных эффектов факторов нами использованы насыщенные планы Плакетта и Бермана, представляющие собой двухуровневые планы, образованные методом циклических сдвигов, в которых число опытов равно числу исследуемых эффектов [28, с. 264]. Вся информация в таких планах используется для оценки параметров, не оставляя степеней свободы для оценки эффекта ошибок дисперсионного анализа. Это позволяет оценить изменчивость случайных эффектов и тестировать оценки параметров на статистическую значимость [28, 33, 47, 121].

Результаты обработки экспериментальных данных представлены в виде диаграмм эффектов факторов (рисунок 4.1 и приложение Е).

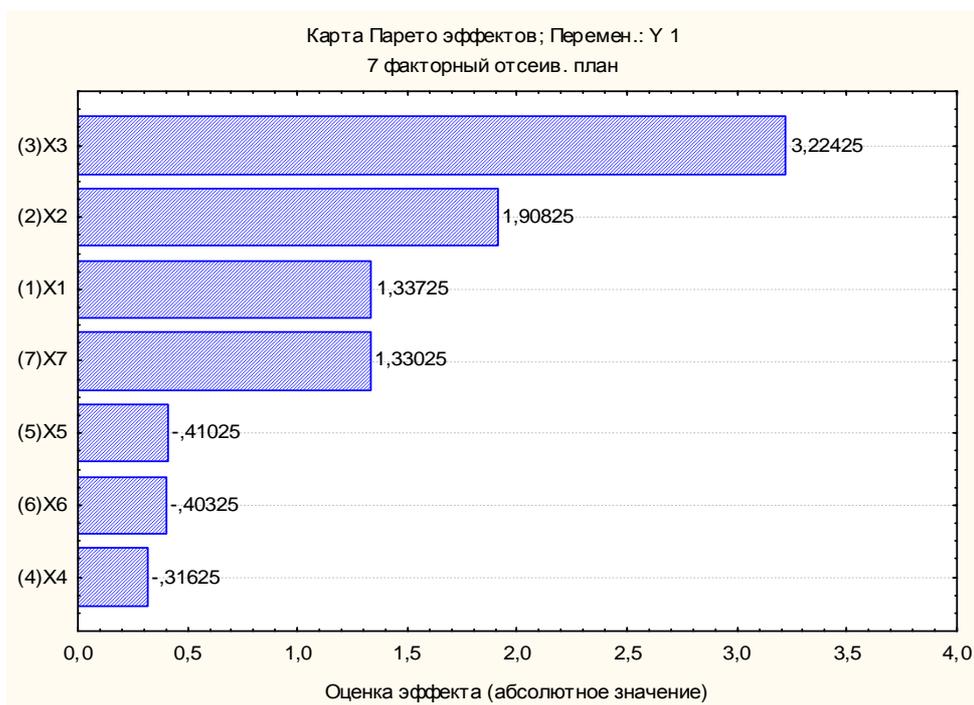


Рисунок 4.1 – Диаграмма эффектов факторов, влияющих на показатель эффективности очистки YI , %

После получения экспериментальных данных в отсеивающих экспериментах проводилась их обработка с помощью прикладной программы STATISTICA версия 6.1 на ПК [40, 47].

Экспериментальное отсеивание факторов показало, что на показатель эффективности E очистки (остаточной загрязненности корнеплодов) и удельную энергоёмкость процесса очистки U в наибольшей степени влияют частота вращения гофрошечных барабанов (X_1), диаметр гофрошечных барабанов (X_2), длина рабочей части очистителя (X_3) и высота эллиптических утолщений на дисках (X_4). Было выявлено также, что на величину потерь P корнеплодов при очистке оказывает существенное влияние также и зазор между барабанами и заслонкой (фактор X_5) (см. приложение Е). Факторы X_6 и X_7 (угол наклона очистителя к горизонту и угол подъема боковых барабанов соответственно) существенного влияния на качество очистки и удельную энергоёмкость процесса очистки не оказывают. Было принято решение угол

наклона очистителя принять постоянным $\gamma = 12^\circ$ (верхний уровень фактора), а угол подъема боковых барабанов принять $\mu = 45^\circ$ (нулевой уровень фактора) с точки зрения обеспечения заданной производительности очистителя $M = 5 \dots 7$ т/ч.

В соответствии с общей постановкой задачи после экспериментального отсеивания факторов необходимо определить оптимальные условия протекания изучаемого процесса. При отыскании области оптимума наиболее распространенным является метод крутого восхождения по поверхности отклика, предусматривающей получение линейной модели вида:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (4.1)$$

При исследовании процесса механической (безводной) очистки был реализован дробный факторный эксперимент вида 2^{4-1} с четырехкратной повторностью каждого опыта. Наименование закодированных факторов и выбор интервалов их варьирования представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Наименования закодированных факторов и интервалы их варьирования

Наименование факторов	Частота вращения барабанов, c^{-1}	Диаметр барабанов, м	Длина барабанов, м	Высота утолщений
Обозначение факторов	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной уровень (0)	15,70	0,5	1,0	0,01
Интервал варьирования	5,235	0,1	0,5	0,01
Верхний уровень (+)	20,93	0,6	1,5	0,02
Нижний уровень (-)	10,46	0,4	0,5	0,00
Функции отклика	$Y1$	Показатель эффективности очистки, %		
	$Y2$	Удельная энергоемкость процесса, кВт-ч/т		

Матрица планирования и результаты экспериментов, вычисленные по данным четырехкратной повторности, приведены в приложении Ж (таблица Ж.1). После проведения опытов была проведена проверка их равнозначности

или однородности дисперсий с помощью критерия Кохрена (таблица Ж.2 в приложении Ж) [28, 33, 121, 128, 135].

Дисперсия критериев оптимизации: показателя эффективности очистки ($Y1$) и удельной энергоемкости очистки ($Y2$) составила:

$$s^2_{Y1} = 2,4778; s^2_{Y2} = 0,0037$$

Расчетное значение критерия Кохрена составило соответственно:

$$G_1 = 0,2066; G_2 = 0,3243$$

Для уровня значимости $p = 0,05$ табличное значение данного критерия $G_{0,05} = 0,4377$. Так как $G_{маб}$ больше расчетных, то гипотеза об однородности дисперсий параметров оптимизации принимается.

После принятия гипотезы об однородности дисперсий, были подсчитаны коэффициенты уравнений регрессии и составлены математические модели процесса очистки в закодированном виде, учитывающие также значимые парные взаимодействия факторов.

Для показателя эффективности очистки уравнение регрессии примет вид:

$$Y1 = 84,442 + 1,6121X_1 + 0,6434X_2 + 0,9541X_3 + 0,6904X_4 \quad (4.2)$$

при выборочном множественном коэффициенте корреляции $R_g = 0,9881$, коэффициенте множественной детерминации $D = 0,9763$, стандартной ошибке $s = 0,53325$ и количестве опытов $N = 8$. Связь между параметром оптимизации и факторами характеризуется коэффициентом корреляции. Для (4.2) коэффициент корреляции для частоты вращения гофрошечочных барабанов составил $R_{x_1} = 0,75942$, для диаметра барабанов $R_{x_2} = 0,30307$, для длины барабанов $R_{x_3} = 0,44946$, для высоты утолщений на дисках $R_{x_4} = 0,32521$. Таким образом, наибольшее влияние на показатель эффективности очистки имеет частота вращения барабанов, меньший длина барабанов и высота утолщений на дисках. Наименьшее влияние (со слабой связью) имеет диаметр барабанов. При этом знак «плюс» перед коэффициентами показывает, что с увеличением соответствующих факторов, параметр оптимизации увеличивается.

Для удельной энергоемкости процесса очистки получили следующее эмпирическое уравнение регрессии:

$$Y_2 = 0,3033 + 0,074X_1 + 0,0215X_2 + 0,0348X_3 - 0,0115X_1X_3 - 0,017X_2X_3 - 0,017X_1X_4 - 0,0115X_2X_4 \quad (4.3)$$

при $R_6 = 0,97087$, $D = 0,94259$, $s = 0,034071$ и $N = 8$. При этом корреляционная связь удельной энергоемкости очистки была: с частотой вращения барабанов $R_{x_1} = 0,84986$, с диаметром барабанов $R_{x_2} = 0,24692$, с длиной барабанов $R_{x_3} = 0,39909$ и с высотой утолщений на дисках $R_{x_4} = 0,0086135$. Таким образом, наибольшее влияние на удельную энергоемкость очистки оказывает частота вращения барабанов, а наименьшее высота утолщений на дисках. Отрицательные знаки перед коэффициентами парных взаимодействий показывают, что увеличению критерия оптимизации способствуют сочетания факторов X_1X_3 , X_2X_3 , X_1X_4 , X_2X_4 , находящихся на разных уровнях [128, с.86].

Следующим этапом является проверка адекватности полученных математических моделей на линейность с помощью критерия Фишера, который представляет собой отношение дисперсии адекватности к дисперсии ошибки опыта (таблица Ж.3 и Ж.4 в приложении Ж) [33, с. 49]. Вычисленный критерий Фишера для показателей эффективности очистки и удельной энергоемкости оказался равным, соответственно, $F_{Y1} = 1,065$; $F_{Y2} = 2,561$. Табличное значение критерия Фишера с уровнем значимости $p = 5\%$ для числа степеней свободы числителя $f_1 = N - n - 1 = 8 - 4 - 1 = 3$ и знаменателя $f_2 = N(k - 1) = 8(4 - 1) = 24$ составило $F_{таб} = 3$. Так как $F_{Y1} < F_{таб}(f_1, f_2)$, то можно было бы утверждать, что линейное приближение адекватно, а показатель эффективности очистки можно достаточно точно описать полученным линейным уравнением регрессии без парных взаимодействий. Для удельной энергоемкости $F_{Y2} < F_{таб}(f_1, f_2)$, но значимы коэффициенты парных взаимодействий. Дополнительная проверка предположения о возможности использования уравнений (4.2), (4.3) без членов высших порядков, проведенная по критерию Стьюдента показала, что различие $\bar{y} - b_0$ статистически значимо с 95% - ной вероятностью (где \bar{y} - среднее значение

критерия оптимизации из N повторностей, b_0 – свободный член в уравнении регрессии) [121, с. 94]. Т.е. гипотеза адекватности линейной модели для данных двух показателей оптимизации не может быть принята и, в дальнейших исследованиях, для получения адекватных математических моделей необходимо использовать планирование второго порядка, позволяющее получить представление о функции отклика с помощью полинома второй степени.

Для достижения области оптимума основного параметра оптимизации – показателя эффективности очистки – проводим крутое восхождение с учетом коэффициентов уравнения $Y1$ (таблица 4.3). В качестве единичного шага было выбрано изменение частоты вращения барабана на $1,05 \text{ с}^{-1}$. Величина единичного шага по другим факторам принималась пропорциональной величине шага фактора X_1 . Так как определялись параметры области оптимума, соответствующие максимальной величине эффективности очистки, то шаговый процесс движения осуществлялся без изменения знаков. Матрица планирования и программа крутого восхождения по поверхности отклика для показателя удельной энергоемкости $Y2$ приведены в приложении И. Для показателя оптимизации $Y2$ знаки округленных шагов изменялись на обратные.

Анализируя результаты эксперимента, можно сделать вывод, что его центр выбран верно и находится в окрестности области оптимума.

4.1.1 Описание области оптимума

Для изучения и описания области оптимума был реализован почти ротатабельный трехуровневый план Бокса – Бенкина второго порядка, в котором во всех строках плана некоторые факторы находятся на нулевых уровнях. Данный тип плана более экономичен по числу запланированных опытов и обладает положительными свойствами других ортогональных и ротатабельных планов [121, с. 108].

Таблица 4.3 – Матрица планирования и программа крутого восхождения по поверхности отклика для показателя эффективности очистки YI

Обозначения	Частота вращения барабанов c^{-1}	Диаметр барабанов м	Длина барабанов м	Высота эллиптич. утолщений, м	Пок-ль эффек-ти очистки, %
	X_1	X_2	X_3	X_4	YI
Верхний уровень (+)	20,93	0,6	1,5	0,02	
Основной уровень (0)	15,70	0,5	1,0	0,01	
Нижний уровень (-)	10,46	0,4	0,5	0	
Опыты:					
1	–	–	–	–	79,98
2	–	+	–	+	83,37
3	–	–	+	+	84,04
4	–	+	+	–	83,94
5	+	–	–	+	85,35
6	+	+	–	–	85,26
7	+	–	+	–	85,84
8	+	+	+	+	87,78
9	0	0	0	0	86,64
Коэффициент регрессии	1,612	0,642	0,955	0,690	
Интервал варьирования факторов	5,235	0,1	0,5	0,01	
Шаг, соответствующий изменению X_1 на $1,0465c^{-1}$	1,0465	0,008	0,059	0,00086	
Округленный шаг	1,05	0,01	0,05	0,002	
Опыты по программе крутого восхождения:					
1	16,75	0,51	1,05	0,012	88,20
2	17,80	0,52	1,10	0,014	88,41
3	18,85	0,53	1,15	0,016	88,52
4	19,90	0,54	1,20	0,018	88,30

Матрица планирования второго порядка представлена в приложении К (таблица К1). Опыты при реализации плана проводились без повторностей, т.к. ошибка опыта при ротатбельном планировании может определяться по

экспериментам в центре плана [121, с. 115]. Опыты были рандомизированы во времени с помощью таблицы случайных чисел [121, с. 159].

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием прикладной программы многофакторного регрессионного анализа экспериментальных зависимостей Regress Analysis версия 2.3 и программы STATISTICA версия 6.1 на ПК [40, 121].

Статистическую значимость коэффициентов регрессии проверяли сравнением их абсолютной величины со значениями их доверительных интервалов [121, с. 116]. Значения доверительных интервалов с 95%-ной доверительной вероятностью оказались равны:

– для показателя эффективности очистки $Y1$:

$$\pm b_0 = 2,06311; \pm b_i = 1,03155; \pm b_{ij} = 1,38670; \pm b_{ii} = 0,54733;$$

– для удельной энергоёмкости очистки $Y2$:

$$\pm b_0 = 0,05221; \pm b_i = 0,02410; \pm b_{ij} = 0,01521; \pm b_{ii} = 0,01915;$$

После исключения статистически незначимых коэффициентов, математические модели показателей оптимизации в закодированном виде примут вид:

$$\left. \begin{aligned} Y1 &= 86,47333 + 1,90867X_1 + 0,26542X_2 + 1,06367X_3 + 0,27675X_4 - \\ &- 1,49750X_3X_4 - 3,21079X_1^2 - 0,37467X_2^2 - 0,90254X_3^2 \\ Y2 &= 0,331 + 0,07925X_1 + 0,02467X_2 + 0,04192X_3 + 0,03225X_1X_3 - \\ &- 0,00783X_1^2 - 0,01796X_2^2 - 0,02158X_3^2 \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

В раскодированном виде уравнения (4.5) запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} E &= 42,498 + 3,67026\omega + 23,14307D + 6,74895L + 256,98073h - \\ &- 299,50Lh - 0,11709\omega^2 - 37,46667D^2 - 3,61017L^2 \\ \dot{O} &= -0,5229 + 0,01011\omega + 1,9554D + 0,0963L + 0,01231\omega L - \\ &- 0,00028\omega^2 - 1,79583D^2 - 0,08633L^2 \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

Адекватность полученных математических моделей второго порядка (4.5) изучаемому процессу проверялась по критерию Фишера (таблица К2 в приложении К). Расчетные значения критерия Фишера для показателей оптимизации составляют $F_{Y1} = 1,2248$; $F_{Y2} = 0,8166$. Табличное значение критерия Фишера с числом степеней свободы числителя $f_1 = N - n - 1 = 24 -$

$1 - 1 = 22$ и числом степеней свободы знаменателя $f_2 = N(k - 1) = 24(4 - 1) = 72$ равно $F_{0,05} = 1,8$ [121, с. 161], что больше полученных расчетных значений и что подтверждает адекватность моделей изучаемому процессу.

4.1.2 Нахождение условного экстремума (решение компромиссной задачи)

При изучении гофрощеточного очистителя как объекта исследования возникает необходимость в одновременном рассмотрении двух параметров оптимизации: показателя эффективности очистки $Y1$ и удельной энергоемкости $Y2$. В этом случае необходимо решение компромиссной задачи, т.к. на экстремум для одной поверхности отклика налагаются ограничения другими поверхностями отклика [96, 121].

Как известно, компромиссные задачи в основном решают двумя известными способами: графическим – с помощью двумерных сечений и аналитическим – с помощью неопределенных множителей Лагранжа. Однако, решение компромиссной задачи данными методами, с одновременным рассмотрением трех и более критериев оптимизации, становится трудоемким и слишком громоздким.

В нашем случае решение компромиссной задачи производим с помощью опции «Профили отклика желательности» в прикладной программе для ПК «STATISTICA» версия 6.0 [40]. Решение компромиссной задачи в среде «STATISTICA» состоит в нахождении такого сочетания уровней входящих факторов X_i , которые максимизируют функцию общей желательности исхода J . Процедура вычислений в данной программе основана на симплекс – методе оптимизации [33, с. 57], позволяющем определять функцию общей желательности исхода J как среднее геометрическое из преобразованных отдельных желательностей показателей оптимизации. Преобразование предсказанных значений частных показателей

оптимизации в индивидуальные показатели желательности сведено в таблицу 4.4.

Степень кривизны «уменьшения» желательности между флективными точками 1,00; 0,50 и 0,00 принята для нижней границы $s = 1$ и верхней границы $t = 1$, т.е. задано линейное изменение желательности между ними.

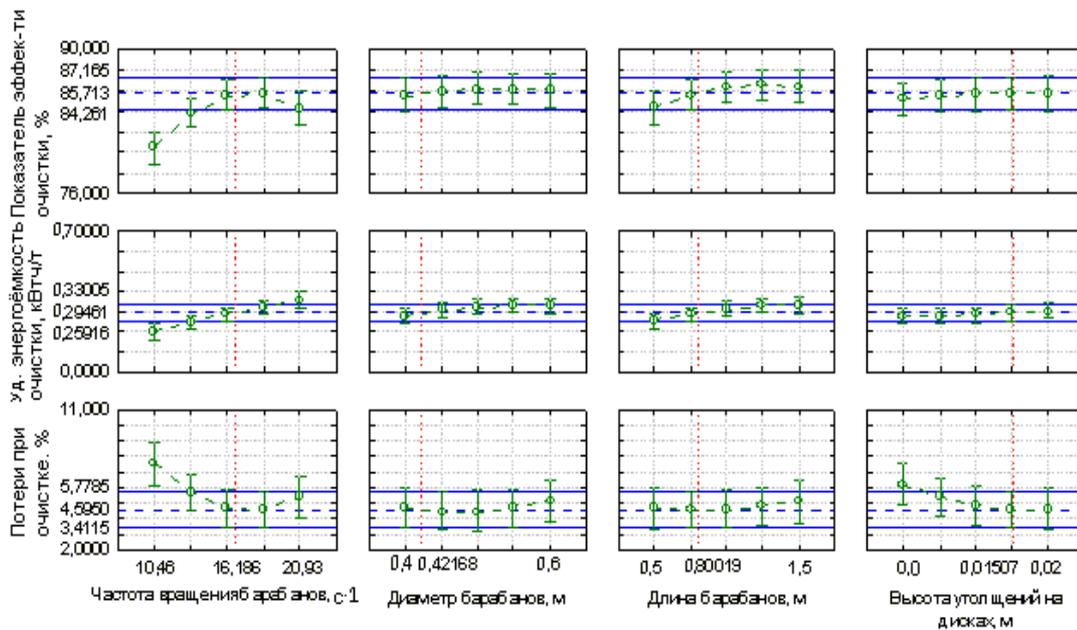
Таблица 4.4 – Спецификация преобразованных значений показателей оптимизации

№ п/п	Наименование показателя оптимизации	Нижний уровень		Средний уровень		Верхний уровень		Кри- визна ниж- няя s	Кри- визна верх- няя t
		значе- ние	жела- тель- ность	значе- ние	жела- тель- ность	значе- ние	жела- тель- ность		
1	Показатель эффективности очистки, %	78,519	0,00	83,148	0,50	87,777	1,00	1,0	1,0
2	Удельная энергоёмкость очистки, кВтч/т	0,140	1,00	0,3345	0,50	0,529	0,00	1,0	1,0

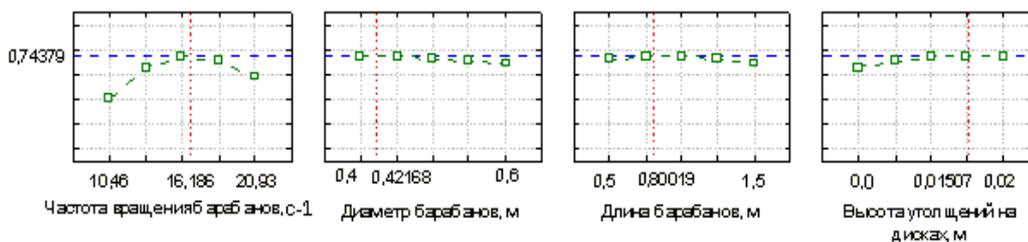
Итогом программного решения компромиссной задачи является построение составного графика профилей предсказанных значений показателей оптимизации (рисунок 4.2).

Вспомогательная таблица для расчета профиля функции общей желательности исхода в каждой точке сетки входящих переменных приведена в приложении К.

Из составного графика профилей отклика (рисунок 4.2) следует, что максимальное значение функции общей желательности исхода равно $J = 0,74379$ при установке входящих факторов на их оптимальные значения: частоты вращения барабанов $\omega = 16,186\text{с}^{-1}$, диаметра барабанов $D = 0,42168\text{м}$, длины барабанов $L = 0,80019\text{м}$ и высоты утолщений на дисках $h = 0,01507\text{м}$ (приложение Л).



а) Профиль предсказанных значений показателей оптимизации



б) Функция общей желательности исхода J

Рисунок 4.2 – Составной график профилей предсказанных значений показателей оптимизации и функции общей желательности исхода J

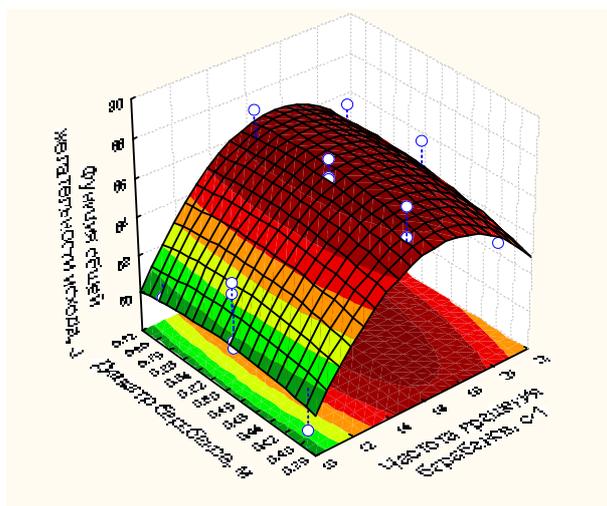
Причем общая желательность исхода уменьшается до $J = 0,655159$ при установке входящих факторов на их средние значения. Характер кривых на составном графике также указывает на то, что наиболее «активным» компонентом, влияющим как на отклики каждого показателя оптимизации, так и на общую желательность исхода, является частота вращения гофрошечных барабанов. Результаты расчета общей желательности исхода представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты расчета общей функции желательности

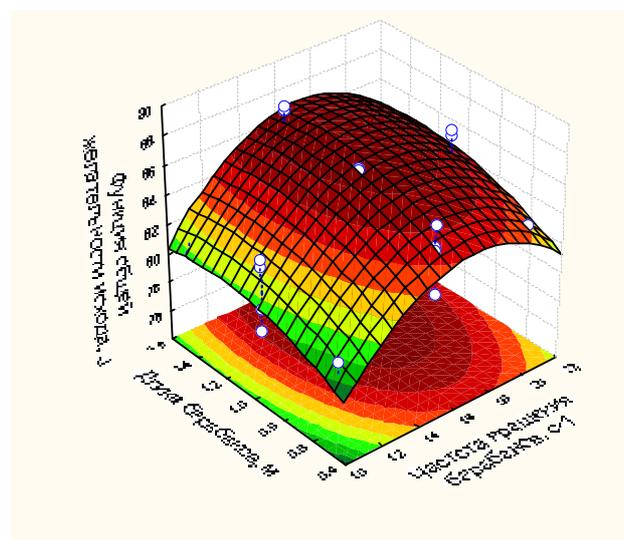
Оптимальные значения факторов				Показатель эффективности очистки, %			Удельная энергоемкость очистки, кВтч/т			Функция желательности J
ω , с ⁻¹	D , м	L , м	h , м	Значение	-95%	+95%	Значение	-95%	+95%	
16,186	0,42168	0,80019	0,01507	85,7133	84,2615	87,1651	0,29460	0,25916	0,33005	0,74379

4.2 Анализ результатов экспериментальных исследований гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов

После определения координат оптимума, т.е. центра фигуры с оптимальным соотношением факторов, производим контрольные опыты в двукратной повторности в центре с целью определения относительной погрешности описания процесса механической (безводной) очистки уравнениями (4.6) и проверки совпадения расчетных данных с экспериментальными (рисунки 4.3 и 4.4).



а)



б)

Рисунок 4.3 – Поверхности отклика влияния частоты вращения и диаметра (а) и частоты вращения и длины гофрощеточных барабанов (б) на функцию общей желательности исхода J

Для первого опыта значения параметров оптимизации составили: для показателя эффективности очистки $E = 87,76\%$ и удельной энергоемкости процесса $U = 0,3033$ кВтч/т. Для второго опыта, соответственно, $E = 88,27\%$, $U = 0,3082$ кВтч/т

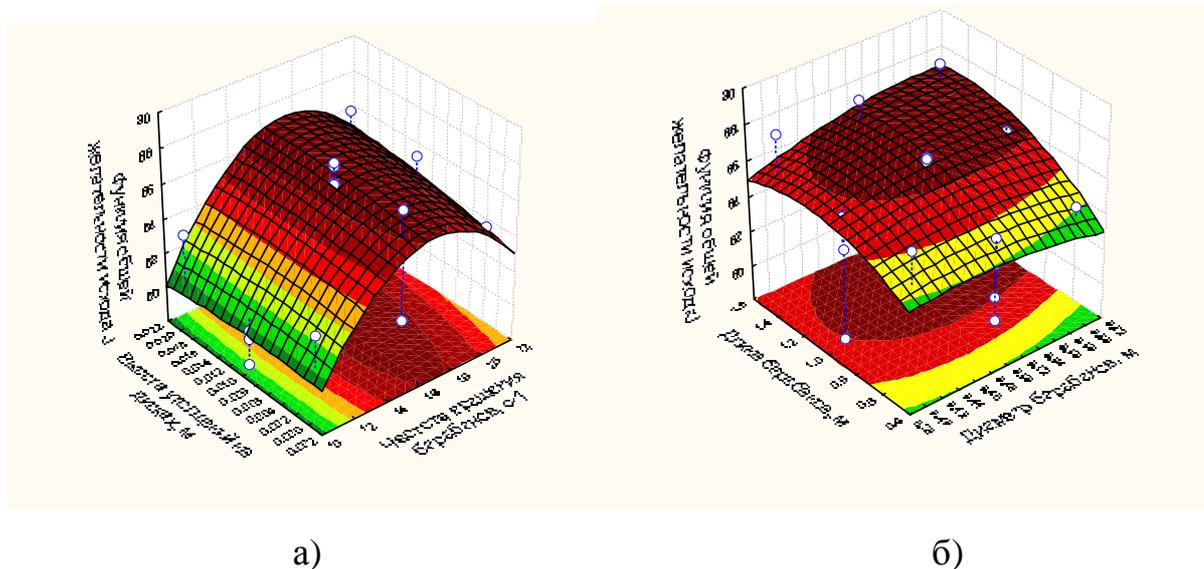


Рис. 4.4. Поверхности отклика влияния частоты вращения и высоты утолщений на дисках (а) и диаметра и длины гофрощеточных барабанов (б) на функцию общей желательности исхода J

Таким образом, из сравнения экспериментальных и вычисленных по уравнениям (4.6) значений параметров оптимизации следует, что данные уравнения описывают процесс механической (безводной) очистки гофрощеточным очистителем кормовых корнеплодов с относительной погрешностью, не превышающей 5%. По итогам решения компромиссной задачи и на основании полученных уравнений регрессии (рисунки 4.16 и 4.17) с помощью прикладной программы для ПК «STATISTICA» версия 6.0 построены поверхности отклика зависимости функции общей желательности исхода J от основных сочетаний переменных факторов.

Область экстремума (для функции общей желательности J) детально изучалась методом двумерных сечений (рисунки 4.5...4.8). В результате программного расчета получили серии кривых равного выхода, которые

дают возможность рассмотреть влияние каждой пары факторов на функцию общей желательности исхода J .

На рисунке 4.5 представлено двумерное сечение, характеризующее функцию общей желательности исхода J в зависимости от частоты вращения (X_1) и диаметра барабанов (X_2) при нулевом значении остальных факторов. Значения координат центра поверхности равны $\omega = 15,695 \text{ с}^{-1}$ и $D = 0,42 \text{ м}$.

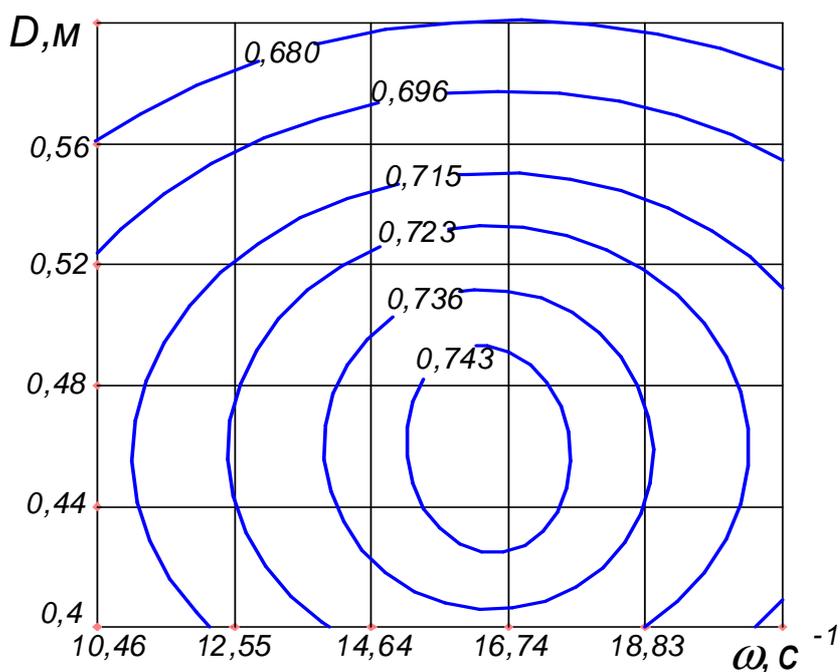


Рисунок 4.5 – Двумерное сечение поверхности отклика влияния частоты вращения и диаметра барабанов на функцию общей желательности J

Функция общей желательности в этой точке равна $J = 0,74284$, а показатели оптимизации в данной точке, соответственно, равны: показатель эффективности очистки $E = 85,63\%$, удельная энергоёмкость очистки $U = 0,29047 \text{ кВтч/т}$. Из рис. 4.5 видно, что оптимальные значения факторов могут находиться в пределах $\omega = 14,65 \dots 17,79 \text{ с}^{-1}$, $D = 0,4 \dots 0,46 \text{ м}$. Уменьшение или увеличение этих пределов ведет к снижению функции общей желательности (обобщенного параметра оптимизации), что для фактора X_1 объясняется влиянием кинематического режима движения обрабатываемого материала. При низкой частоте вращения барабанов гофрополосные рабочие элементы недостаточно упруги, вследствие чего не обеспечивается

интенсивное воздействие на налипшие с поверхностями корнеплодов загрязнения. При высокой частоте вращения барабанов корнеплоды начинают подпрыгивать от воздействия утолщений на дисках, хаотически двигаться и находиться определенную часть времени в свободном падении, что также ведет к снижению эффективности очистки.

С увеличением диаметра гофрощеточных барабанов снижается относительная жесткость гофрополосного щеточного ворса и его сила воздействия на поверхности корнеплодов. Это приводит к снижению эффективности очистки и повышению удельной энергоемкости при очистке.

Аналогичным образом были построены остальные сечения, имеющие наиболее практическое значение и представленные на рисунках 4.6...4.8.

С увеличением длины очистителя наблюдается рост эффективности, удельной энергоемкости и потерь корнеплодов при очистке. Это объясняется увеличением времени нахождения и, соответственно, продолжительности обработки корнеплодов на гофрощеточных поверхностях барабанов.

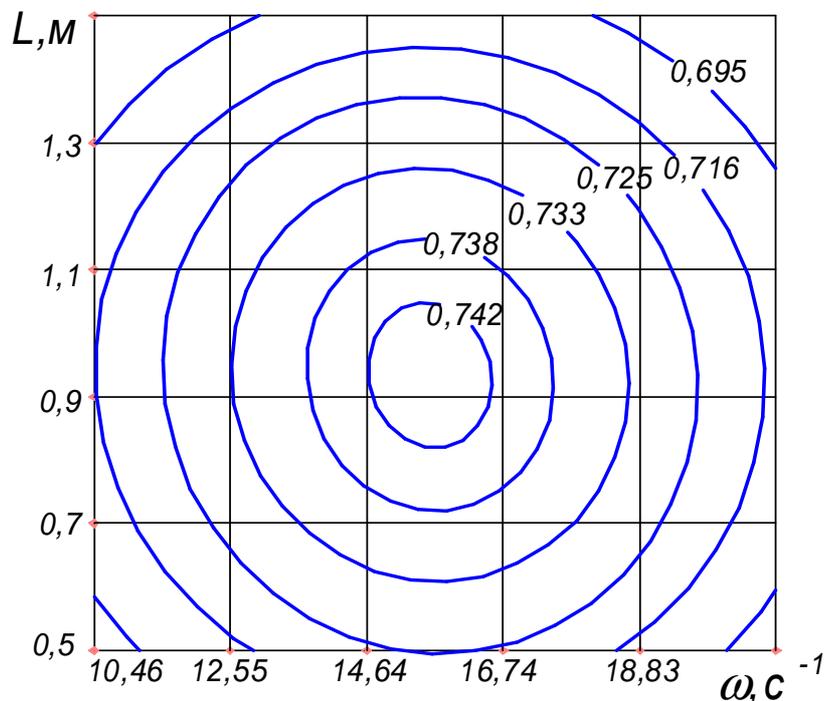


Рисунок 4.6 – Двумерное сечение поверхности отклика влияния частоты вращения и длины барабанов на функцию общей желательности J

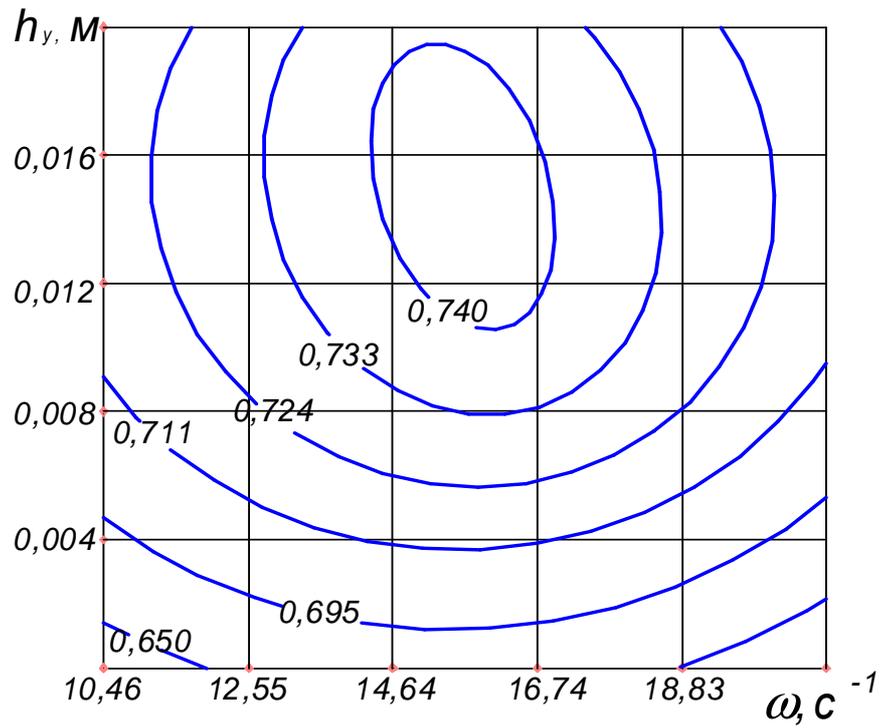


Рисунок 4.7 – Двумерное сечение поверхности отклика влияния частоты вращения и высоты утолщений на дисках на функцию желательности J

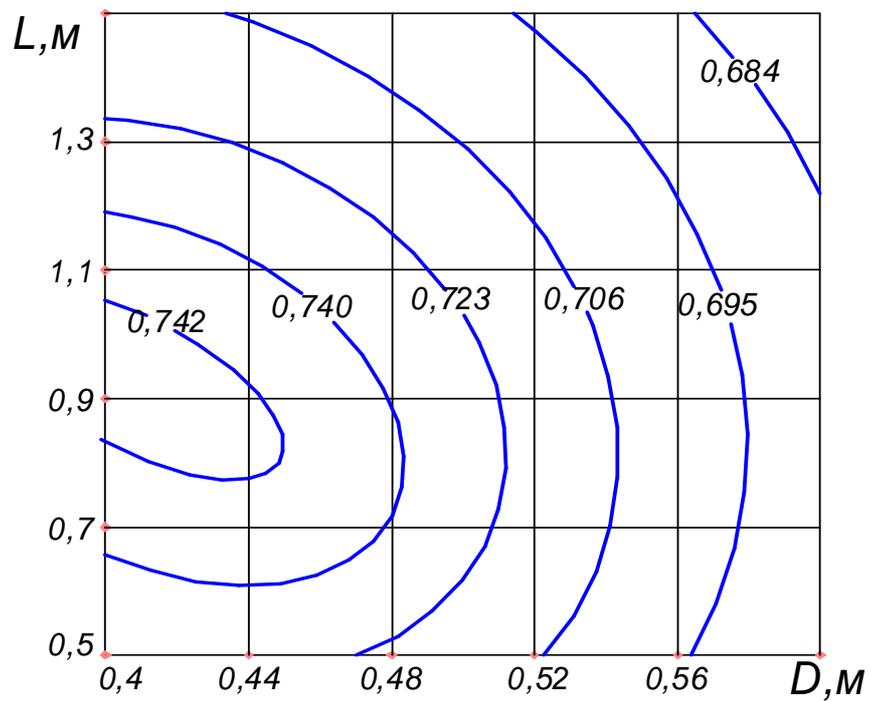


Рисунок 4.8 – Двумерное сечение поверхности отклика влияния диаметра и длины барабанов на функцию общей желательности J

Увеличение эффективности очистки с увеличением факторов X_1 (частоты вращения барабанов) и X_4 (высоты утолщений на дисках) объясняется более интенсивным воздействием эллиптических утолщений на дисках на корнеплоды и налипшие с их поверхностями примеси.

Анализ двумерных сечений на рисунках 4.5...4.8 показывает, что оптимальным значением частоты вращения барабанов является: $\omega = 14,95...17,79\text{с}^{-1}$; диаметра барабанов $D = 0,4...0,46\text{м}$; длины барабанов $L = 0,7...1,1\text{м}$. Высота эллиптических утолщений на дисках должна находиться в пределах $h = 0,012...0,018\text{м}$.

Значения оптимальных кинематических параметров гофрощеточного очистителя следует считать усредненными, т.к. при проведении опытов не учитывали изменения влажности примесей и степени их загрязненности.

4.3 Исследование влияния загрязненности и влажности примесей на эффективность очистки кормовых корнеплодов

Влияние данных факторов определяли при оптимальных значениях кинематических и конструктивных параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.

С учетом того, что при испытаниях очистителя средняя загрязненность связанной почвой для корнеплодов кормовой и сахарной свеклы значительно отличалась как по опытам, так и по отдельным корнеплодам, был проведен анализ зависимости эффективности очистки E от начальной загрязненности $\delta_{н.з.}$. При изучении влияния начальной загрязненности влажность примесей составляла для сахарной свеклы 3...30%, кормовой свеклы 10...18%, загрязненность корнеплодов связанной почвой составляла, соответственно, 2,5...15% и 1,2...10%. Общая загрязненность составляла для сахарной свеклы 6,5...28,8%, для кормовой свеклы 4,8...23,5% к общей массе корнеплодов.

Опыты показали, что возрастание исходной загрязненности свеклы ведет к увеличению эффективности очистки (рисунок 4.9). Это объясняется

тем, что в первую очередь удаляется почва, имеющая меньшую прочность связи с поверхностями корнеплодов и находящаяся вне канавок, трещин и межкорешкового пространства.

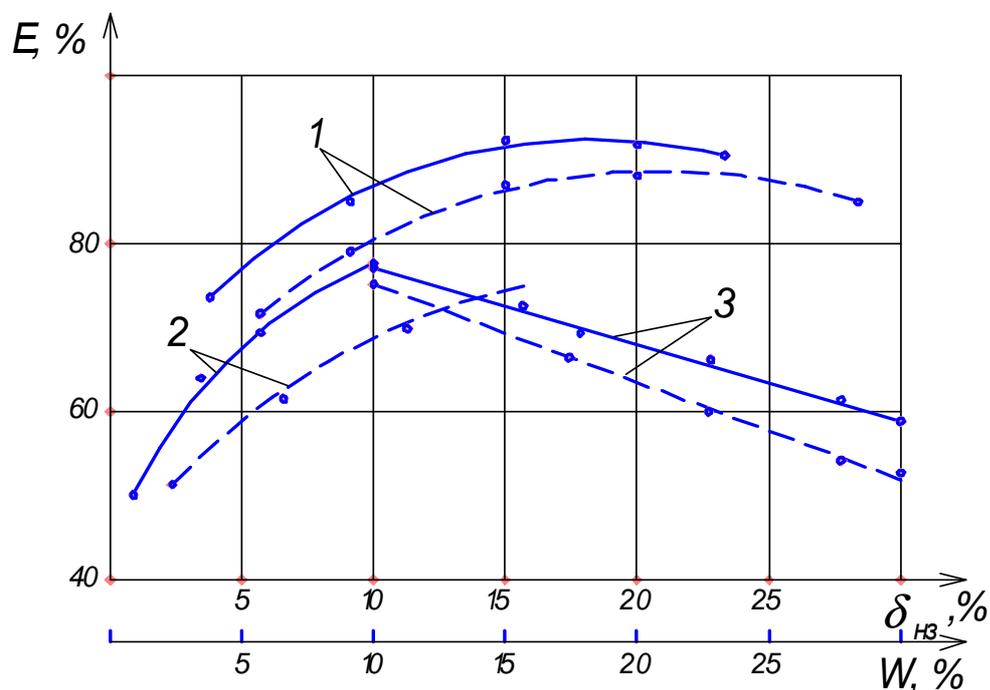


Рисунок 4.9 – Зависимость эффективности очистки кормовой (—) и сахарной (- - -) свеклы от начальной загрязненности общей (1), связанной почвой (2) и влажности связанной почвы (3) при оптимальных параметрах очистителя

Загрязнения, находящиеся в неровностях и трещинах при механической (безводной) очистке трудноотделимы. Поскольку при более высокой начальной загрязненности увеличивается в основном количество легкоотделяемой свободной и связанной почвы, то эффективность очистки также будет возрастать. Повышенная начальная загрязненность свободными примесями до 20...30% не оказывает существенного влияния на качество работы гофрощеточного очистителя корнеплодов. Мелкие и средние твердые примеси, растительные остатки, солома при проведении всех опытов отделялись полностью.

Эффективность очистки корнеплодов кормовой свеклы в среднем составила 85...87%, а остаточная загрязненность не превышала 1%.

Эффективность очистки корнеплодов сахарной свеклы в среднем составила 80...82,5%, при средних значениях остаточной загрязненности 2,81%, что соответствует зоотехническим требованиям к подготовке корнеклубнеплодов к скармливанию сельскохозяйственным животным.

Опытами по определению влияния влажности налипших примесей на эффективность очистки корнеплодов установлено, что с увеличением влажности связанной почвы с 10 до 30% эффективность очистки снижалась с 78 до 56%. Это обусловлено тем, что при увеличении влажности почвенные отдельности обволакиваются водной пленкой, способствующей увеличению сцепления почвы с поверхностями корнеплодов. По данным А.В. Дервиша [165, 174] почвенная влага начинает выполнять функцию смазки при влажности земли 32...35%. При поступлении же корнеплодов из хранилища на обработку влажность связанной с ними почвы не превышает 30% [102, 111, 161, 167, 188]. Поэтому опыты проводились при изменении влажности связанной почвы в указанных пределах (до 30%).

4.4 Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

В ходе теоретических исследований процесса механической (безводной) очистки корнеплодов в гофрощеточном очистителе установлено и предложено ряд аналитических зависимостей для определения конструктивных и кинематических параметров данного устройства.

Теоретическими исследованиями установлено, что необходимая длина очистителя (L) зависит от его производительности (M), времени обработки корнеплодов (τ) и степени заполнения (φ) рабочего объема очистителя. Для разработки практических рекомендаций по использованию зависимостей $L = f(\tau)$ и $M = f(\tau)$, были проведены опыты по определению эффективности очистки от продолжительности обработки корнеплодов (рисунок 4.10).

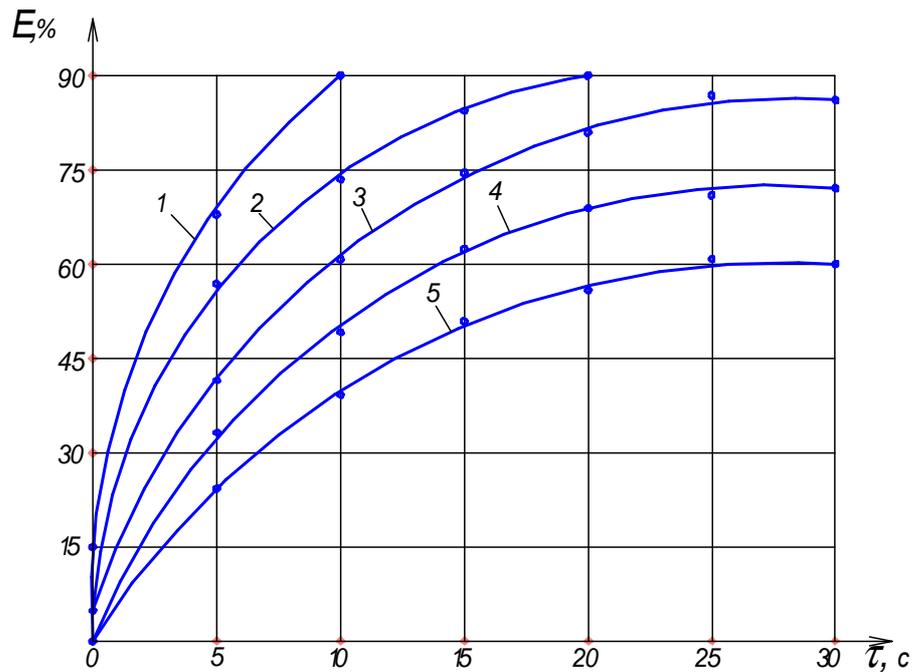


Рисунок 4.10 – Эффективность очистки корнеплодов свеклы в зависимости от продолжительности их обработки: 1 – свободная почва и камни (при зазоре между барабанами $s = 30\text{мм}$ и загрязненности до 15%); 2 – связанная почва; 3 – растительные остатки при зазоре $s = 30\text{мм}$; 4 – растительные остатки при зазоре $s = 0\text{мм}$; 5 – свободная почва и камни при зазоре $s = 0\text{мм}$

Из рисунка 4.10 видно, что вначале обработки наблюдается интенсивный рост эффективности очистки, а затем он замедляется. При времени обработки $\tau = 20\dots 25$ с уже достигается хорошее качество очистки корнеплодов ($E = 70\dots 78\%$) от связанной почвы, а свободные примеси отделяются практически полностью ($E = 85\dots 87\%$). Этим значением продолжительности обработки корнеплодов и следует пользоваться в практических расчетах.

На эффективную работу гофрощеточного очистителя значительно влияет угловая скорость вращения и длина барабанов. Приняв угол подъема боковых барабанов $\mu = 45^\circ$, время обработки $\tau = 30$ с, плотность корнеплодов $\rho = 650 \text{ кг/м}^3$, радиус дисков $R = 0,123$ м, коэффициент $k_0 = 0,5\dots 0,8$ для производительности устройства $M = 5$ т/ч по зависимости (2.20) определяем длину барабанов $L=0,6716$ м. С увеличением длины барабанов

эффективность очистки увеличивается, но увеличиваются также удельная энергоемкость процесса и потери корнеплодов при очистке. Согласно результатов экспериментальных исследований оптимальным значением данного параметра является $L = 0,80019$ м. Тогда коэффициент, учитывающий изменение площади сечения обрабатываемого материала вследствие наклона гофрощеточного очистителя к горизонту в зависимостях (2.18) и (2.20) равен $k_0 = 0,6716/0,80019 = 0,839$. Очистка корнеплодов от связанной почвы осуществляется при выполнении условия (2.13): $\omega_{min} \leq \omega < \omega_{max}$. При оптимальном значении диаметра гофрощеточных барабанов $D = 0,42$ м и минимальной окружной скорости вращения $v_{min} = 2,61$ м/с [137, 155], при которой начинают разрушаться налипшие почвенные отдельности, имеем $\omega_{min} = 12,46$ с⁻¹. Согласно результатов экспериментальных исследований, оптимальным значением данного параметра является $\omega = 16,186$ с⁻¹. Тогда выражение для определения угловой скорости вращения гофрощеточных барабанов можно записать в виде:

$$\omega = \frac{v_{min}^{okp}}{R_m} \cdot k_1 \quad (4.7)$$

где k_1 – эмпирический коэффициент, равный $k_1 = 16,186/12,460 = 1,3$.

Максимальное допустимое значение угловой скорости ω_{max} определяется численным решением зависимости (2.8) при $N = 0$. Приняв массу единичного корнеплода $m = 2$ кг, количество слоев корнеплодов в рабочем объеме очистителя $n = 3$, силу давления вышележащих слоев корнеплодов, соответственно, $P_3 = 79$ Н, угол наклона очистителя к горизонту $\gamma = 9^\circ$, по зависимости (2.14) значение $\omega_{max} = 23,374$ с⁻¹. Сравнивая оптимальное значение ω , полученное в результате экспериментальных исследований с теоретически рассчитанными ограничениями, нетрудно убедиться в адекватности соблюдения условия $\omega_{min} \leq \omega < \omega_{max}$.

Теоретическое значение диаметра гофрощеточных барабанов по условию (2.21) при количестве одновременно обрабатываемых слоев корнеплодов $n = 3$ средней фракции $r = 0,1 \dots 0,12$ м и угле подъема боковых

барабанов $\mu = 45^\circ$ равно $D \geq 0,27$ м. Оптимальным значением данного параметра является $D = 0,4217$ м. Тогда выражение (2.21) можно записать в следующем виде:

$$D_{rb} = \frac{nd_k + 2\Delta h}{2 \sin \mu + 1} \cdot k \quad (4.8)$$

где k – эмпирический коэффициент, $k = 0,4217/0,27 = 1,56$.

Теоретически необходимое значение высоты эллиптических утолщений на дисках по выражению (2.23) равно $h = 0,0172$ м при равенстве диаметра дисков $d = 0,248$ м, среднем диаметре корнеплодов $d_k = 0,08 \dots 0,1$ м, углах трения $\varphi_k = 22 \dots 35^\circ$ и расстоянии между дисками $c = 0,07$ м. Теоретическое значение h практически совпадает с диапазоном оптимальных значений для данного параметра, согласно результатов экспериментальных исследований.

Экспериментальная проверка зависимости производительности гофрощеточного очистителя от угла его наклона к горизонту показала, что теоретическое выражение (2.18) позволяет определить этот параметр с точностью до 5% (рисунок 4.11) при принятых значениях $k_0 = 0,9$; $\rho = 650$ кг/м³, $s_0 = 0,43$ м²; $\gamma = 9 \dots 12^\circ$; $R_{щ} = 0,21$ м; $\mu = 45^\circ$; $R_0 = 0,12$ м.

Установленное теоретическими исследованиями значение мощности на привод гофрощеточного очистителя по выражению (2.25) равно $N = 2,5$ кВт при принятых значениях производительности $M = 5$ т/ч, количестве гофрощеточных барабанов $z = 4$, силе давления вышележащих корнеплодов $P_3 = 79$ Н, коэффициенте сопротивления движению корнеплодов $f = 1,49$, плотности набора гофрополосного ворса $p = 0,18$ шт/см² и осевой скорости перемещения корнеплодов $v_l = 0,05 \dots 0,07$ м/с. Экспериментальная проверка зависимости потребляемой мощности очистителя от его производительности (рисунок 4.12) и угловой скорости вращения гофрощеточных барабанов (рисунок 4.13) показала, что определяемое теоретическим путем значение мощности превышает экспериментальное на 5...7% при установке основных параметров очистителя на их оптимальные значения.

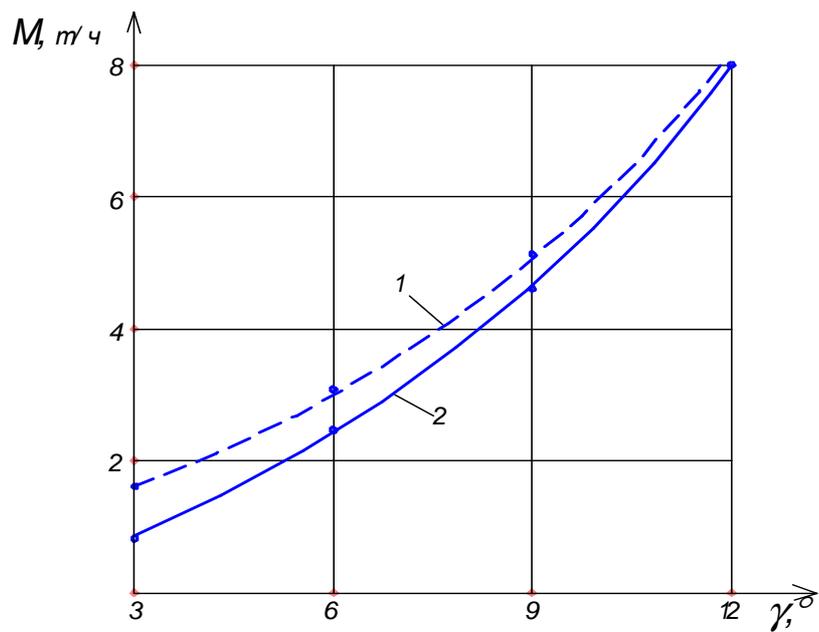


Рисунок 4.11 – Зависимость производительности гофрощеточного очистителя от угла его наклона к горизонту: 1 – теоретическая; 2 – по экспериментальным данным

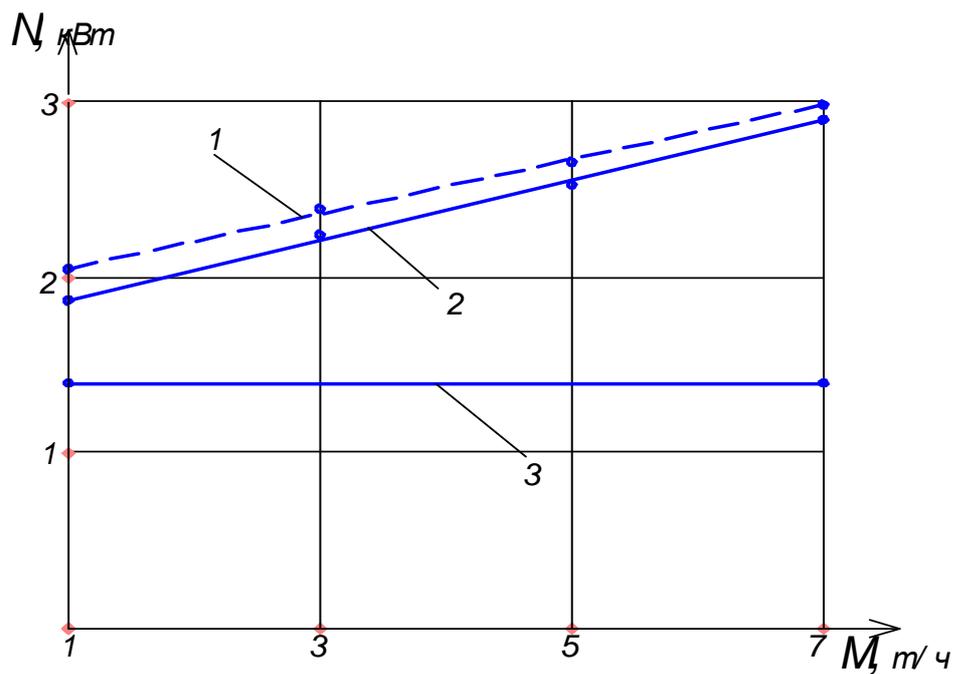


Рисунок 4.12 - Зависимость потребляемой мощности гофрощеточным очистителем от его производительности: 1 – теоретическая; 2 – под нагрузкой; 3 – на холостом ходу

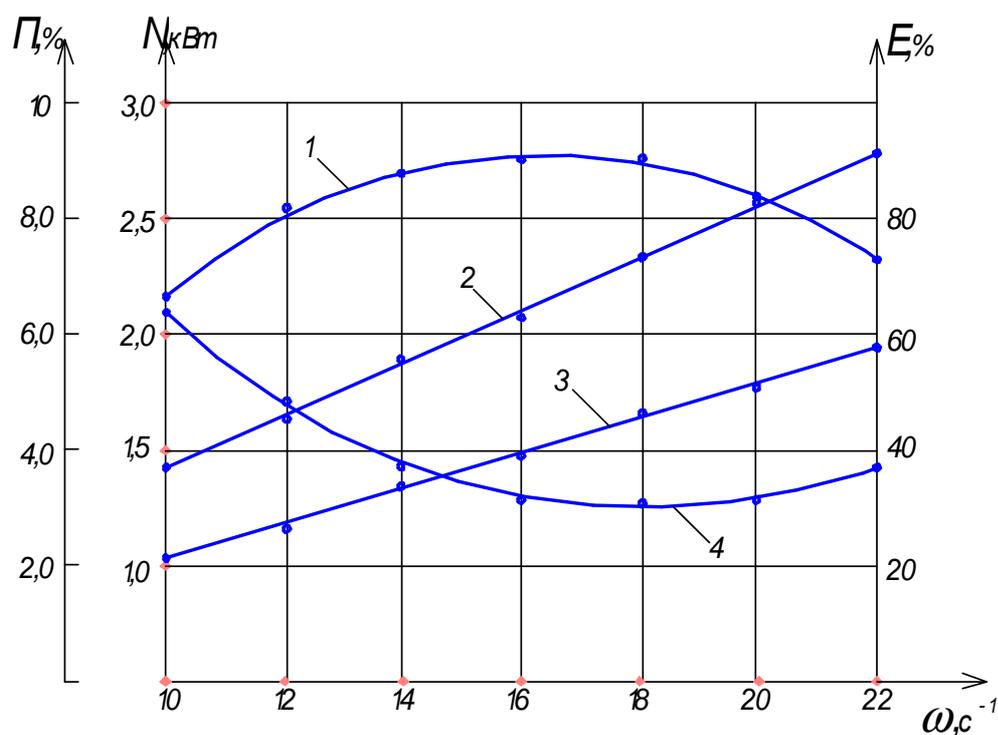


Рисунок 4.13 – Зависимость эффективности очистки E (1), потребляемой мощности N под нагрузкой (2), мощности на холостом ходу (3) и потерь корнеплодов при очистке Π (4) от угловой скорости ω гофрощеточных барабанов

Таким образом, результаты проведенных экспериментальных исследований указывают на правильность выдвинутых теоретических предпосылок. В совокупности они могут быть использованы при составлении методики расчета основных параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.

4.5 Методика расчета параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов

В основу методики расчета положены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в соответствии с программой исследований по диссертационной работе.

Исходными данными для расчета параметров очистителя являются его производительность и вид обрабатываемых корнеплодов. Важными параметрами гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов являются диаметр и длина гофрощеточных барабанов. Их следует выбирать исходя из условия обеспечения заданной производительности и наилучшей очистки корнеклубнеплодов, которые должны располагаться внутри рабочего объема очистителя в 2...3 слоя и занимать 1/3 его объема. Выполнение данного условия возможно, если угол подъема боковых барабанов будет равен $\mu = 40...50^\circ$, а диаметр барабанов определится следующим выражением:

$$D = \frac{nd_k + 2\Delta h}{2\sin\mu + 1} \cdot k \quad (4.9)$$

где n – количество слоев корнеплодов в рабочем объеме очистителя;
 d_k – среднее значение диаметра обрабатываемых корнеплодов;
 Δh – глубина впадины между барабаном и заслонкой, ограниченная минимальными размерами непроходной фракции корнеплодов;
 k – эмпирический коэффициент, равный $k = 1,4...1,6$. Оптимальное значение данного параметра, по результатам экспериментальных исследований, составило $D = 0,4217$ м.

Зазор между гофрощеточными барабанами и заслонкой выбирается из условия $2c_{min} \leq d_{kmin}$, где d_{kmin} – минимальный диаметр корнеплодов.

Диаметр опорных дисков D_δ на барабанах определяется из условия незащемления и неповреждения корнеплодов средней и крупной фракции в рабочем объеме очистителя:

$$D_\delta \leq \frac{\cos^2 \varphi_k (d_{kc} + h) - c_\delta + \sqrt{[c_\delta - \cos^2 \varphi_k (d_{kc} + h)]^2 - (1 - \cos^2 \varphi_k)[c_\delta^2 - h^2 - \cos^2 \varphi_k (d_{kc}^2 + 2d_{kc}h)]}}{1 - \cos^2 \varphi_k} \quad (4.10)$$

где d_{kc} – диаметр корнеплодов средней фракции;
 h – высота эллиптических утолщений на дисках;
 φ_k – коэффициент трения корнеплода по материалу дисков;

c_δ – величина зазора между дисками соседних гофрошечных барабанов, определяется из условия минимума потерь корнеплодов средней непроходной фракции $2 c_\delta \leq d_{kc}$.

Шаг расположения опорных дисков t по длине гофрошечных барабанов определяется из условия минимума потерь корнеплодов средней непроходной фракции:

$$t \leq \frac{1}{8} \cdot (2l_k + 3R) \quad (4.11)$$

где l_k – длина конусной части корнеплодов;

R – радиус корнеплода в наибольшем поперечном сечении.

Высота эллиптических утолщений на дисках определяется выражением:

$$h = \sqrt{\cos^4 \varphi_k (d_d + d_{kc})^2 - d_d^2 (\cos^2 \varphi_k - 1) - d_{kc}^2 \cos^2 \varphi_k - 2d_d (d_k \cos^2 \varphi_k - c_d) + c_d^2} - \cos^2 \varphi_k (d_d + d_{kc}) \quad (4.12)$$

По результатам экспериментальных исследований оптимальное значение данного параметра составляет $h = 0,01507$ м, минимальное количество эллиптических утолщений на одном диске должно быть $m = 2$.

Длина гофрошечного очистителя L определяется выражением (2.20).

Продолжительность обработки корнеплодов принята $\tau = 20 \dots 25$ с. Тогда:

$$L = \frac{0,278M\tau}{k_o \varphi \rho_k \left[2R_{rw}^2 (2 \cos \mu + 2 \sin \mu (\cos \mu + 1) + 1) - \frac{3}{2} \pi R_d^2 \right]} \quad (4.13)$$

где M – производительность очистителя;

k_o – коэффициент, учитывающий изменение площади сечения обрабатываемого материала при наклоне очистителя к горизонту, $k_o = 0,5 \dots 0,8$;

φ – коэффициент заполнения рабочего объема очистителя, $\varphi = 0,3 \dots 0,5$;

R_{rw} – радиус гофрошечного барабана;

R_δ – радиус опорного диска.

Оптимальным значением длины гофрощеточных барабанов, по результатам решения компромиссной задачи, является $L = 0,80019$ м.

Угловая скорость вращения гофрощеточных барабанов определяется по формуле:

$$\omega = \frac{v_{\min}^{okr}}{R_{rw}} \cdot k_1 \quad (4.14)$$

где v_{\min}^{okr} – минимальная скорость разрушения налипших почвенных отделиностей, $v_{\min}^{okr} = 2,61$ м/с;

k_1 – эмпирический коэффициент, равный $k_1 = 1,3$.

Оптимальным значением частоты вращения гофрощеточных барабанов, по результатам решения компромиссной задачи, является $\omega = 16,186$ с⁻¹. При симметричном расположении гофрощеточных барабанов относительно регулируемой заслонки и четном их количестве, кратном двум, с углами подъема боковых барабанов $\mu = 40...50^\circ$ и углами наклона гофрощеточного очистителя к горизонту $\gamma = 6...9^\circ$ достигается наибольший эффект очистки корнеплодов от примесей.

Потребляемую очистителем мощность и его производительность можно определить по следующим эмпирическим зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} N &= AM + B\omega + 0,8761 \\ M &= D\gamma + F\mu - 1,002 \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

где N – потребляемая очистителем мощность, кВт;

M – производительность очистителя, т/ч;

A – эмпирический коэффициент, учитывающий затраты энергии на перемещение корнеплодов в рабочем объеме очистителя и преодоление трения корнеплодов о гофрополосный ворс и опорные диски барабанов;

B – эмпирический коэффициент, учитывающий затраты энергии на холостом ходу очистителя;

D – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние угла наклона очистителя на степень заполнения его рабочего объема;

F – эмпирический коэффициент, учитывающий изменение площади сечения материала вследствие подъема боковых барабанов.

Значения коэффициентов A , B , D , F и свободные члены в зависимости (4.15) определены с помощью линейной аппроксимации графических зависимостей (рисунки 4.11...4.13) по методу частных наименьших квадратов. Вычисление производили по стандартной методике с программной реализацией в среде математического пакета MathCAD [159, с. 117]. Коэффициенты оказались равны $A = 0,2263$, $B = 0,0138$, $D = 0,581$ и $F = -0,008$. Проверка полученных линейных моделей по критерию Стьюдента показала их адекватность экспериментальным данным с 95% - ной вероятностью.

На основании полученных линейных зависимостей (4.15) построим номограмму для определения параметров гофрощеточного очистителя корнеплодов (рисунок 4.14) [92]. Для этого выберем сетчатую номограмму из выровненных точек с четырьмя прямолинейными равномерными шкалами с сопряжением по оси M [37, с. 49]. Для данного типа номограмм полученные линейные модели в форме Коши будут иметь следующий канонический вид: $f_1 = f_2 + f_3$ и $f_2 = f_4 + f_5$. Для нашего случая $f_1 = N$; $f_2 = 0,2263M$; $f_3 = 0,0138\omega$; $f_4 = 0,581\gamma$ и $f_5 = -0,008\mu$. Переменные параметры будем варьировать в таких пределах: $\omega = 10...25\text{с}^{-1}$, $\gamma = 2...15^\circ$, $\mu = 30...70^\circ$. Определим предельные значения производительности $M_1 = 0,581 \cdot 2 - 0,008 \cdot 30 - 1,002 = 0\text{т/ч}$, $M_2 = 0,581 \cdot 15 - 0,008 \cdot 70 - 1,002 = 7,2\text{т/ч}$ и мощности $N_1 = 0,2263 \cdot 0 + 0,0138 \cdot 10 + 0,8761 = 1,014\text{кВт}$, $N_2 = 0,2263 \cdot 7,2 + 0,0138 \cdot 25 + 0,8761 = 2,85\text{кВт}$. Принимаем длину вертикальных шкал N и γ $l = 100\text{мм}$, для горизонтальных шкал M и ω $l = 80\text{мм}$. Уравнения шкал диаграммы имеют следующий вид: для шкалы $N - y_N = \lambda_1(f_1 - a)$; для шкалы $M - x_M = \lambda_2(f_2 - b)$; для шкалы $\omega - x_\omega = \lambda_3(f_3 - c)$; для шкалы $\gamma - y_\gamma = \lambda_4(f_4 - d)$. Определим модули λ_1 , λ_2 , λ_3 и λ_4 из уравнений шкал номограммы.

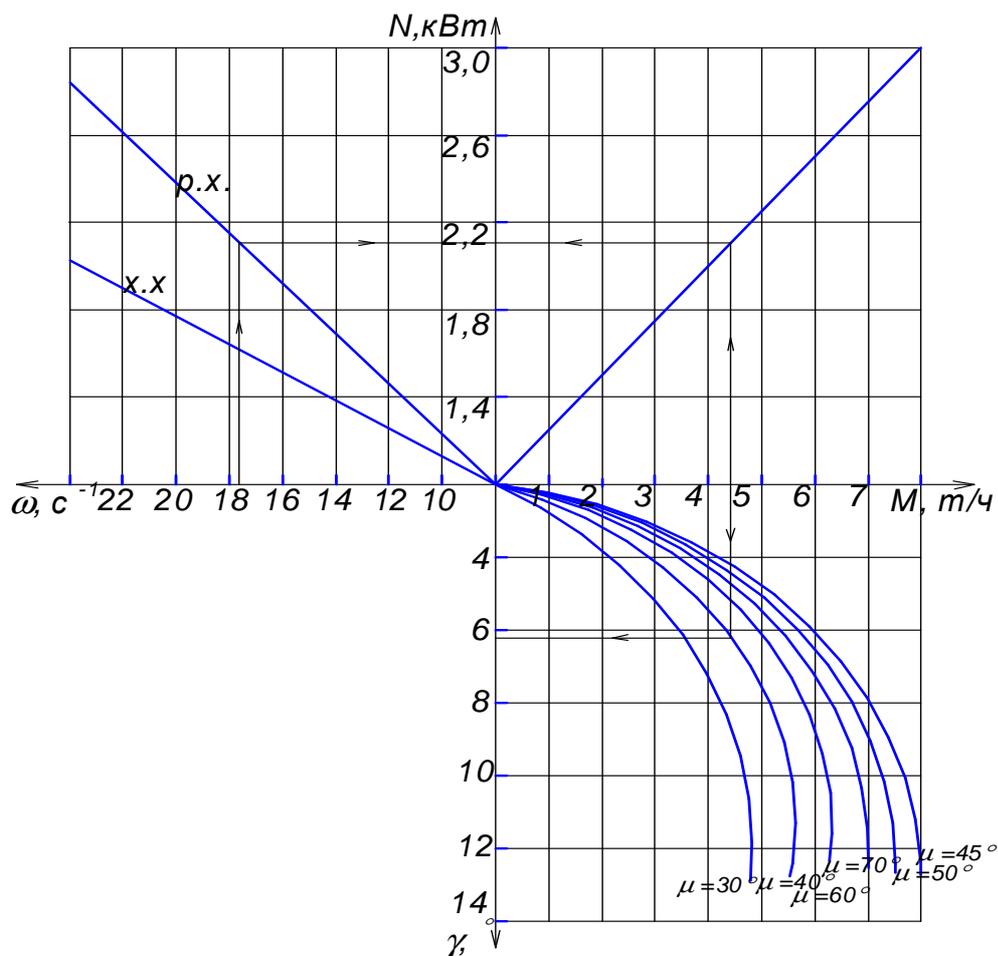


Рисунок 4.14 – Номограмма для определения конструктивных и кинематических параметров очистителя

Допустим составляющие a, b, c и d равны нулю. Тогда имеем для шкалы N : $100 = \lambda_1(N_{max} - N_{min}) = \lambda_1(2,85-1,014) = \lambda_1 \cdot 1,836$, откуда $\lambda_1 = 54,5$. Для шкалы M : $80 = \lambda_2[0,2263(7,2-0)] = 1,63 \lambda_2$ или $\lambda_2 = 49,1$. Для шкалы ω : $80 = \lambda_3(0,0138(25-10)) = 0,207 \lambda_3$ или $\lambda_3 = 386,5$. Для шкалы γ : $100 = \lambda_4(0,581(15-2)) = 7,553 \lambda_4$ или $\lambda_4 = 13,2$. Тогда соответствующие уравнения шкал имеют вид: $y_N = 54,5N$; $x_M = 49,1 \cdot 0,2263 \cdot M$; $x_\omega = 386,5 \cdot 0,0138 \cdot \omega$; $y_\gamma = 13,2 \cdot 0,581 \cdot \gamma$.

Пример расчета параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов с использованием данной методики приведен в приложении М.

Выводы

1. В результате экспериментальных исследований определены оптимальные параметры гофрощеточного очистителя корневых корнеплодов:

- угловая скорость вращения гофрощеточных барабанов $\omega = 16,186 \text{ с}^{-1}$;
- диаметр гофрощеточных барабанов $D = 0,42168 \text{ м}$;
- длина гофрощеточных барабанов $L = 0,80019 \text{ м}$;
- высота эллиптических утолщений на дисках $h = 0,01507 \text{ м}$.

Рациональными параметрами гофрощеточного очистителя корневых корнеплодов являются: угол наклона очистителя к горизонту $\gamma = 6...9^\circ$, угол подъема боковых барабанов $\mu = 40...50^\circ$, зазор между гофрощеточными барабанами и заслонкой $s = 0...30 \text{ мм}$, плотность набора гофрополосного ворса $p = 0,15...0,2 \text{ шт/см}^2$, диаметр и шаг расположения опорных дисков по длине барабана, соответственно, $d = 0,25...0,26 \text{ м}$ и $t = 0,07...0,1 \text{ м}$. Полученные экспериментальные данные соответствуют результатам теоретических исследований, проведенным во втором разделе.

2. При оптимальных параметрах гофрощеточного очистителя наибольшая эффективность очистки от всех примесей составила 88...92% для корнеплодов кормовой и 84...86% для сахарной свеклы. Остаточная загрязненность в обоих случаях не превышала 3% (при начальной загрязненности свободными примесями для кормовой свеклы 4,8...23,5% и сахарной свеклы 6,5...29%, связанной почвой для кормовой свеклы 1,2...10% и сахарной свеклы 2,5...15%, влажность связанной почвы 10...18%). Эффективность очистки от связанной почвы составила 76...78% для кормовой свеклы и 72...74% для сахарной свеклы.

3. С увеличением начальной загрязненности корнеплодов эффективность очистки увеличивается, а остаточная загрязненность корнеплодов остается практически постоянной и находится в пределах 2...4%. Кормовая свекла, характеризующаяся ровной поверхностью и более

слабой связью с почвой, может очищаться в соответствии с зоотехническими требованиями практически при любой степени начальной загрязненности.

4. Достаточно высокая эффективность очистки, отвечающая зоотехническим требованиям на подготовку корнеплодов к скармливанию сельскохозяйственным животным, достигается при продолжительности обработки корнеплодов 20...25 с.

5. Потребляемая гофрощеточным очистителем мощность, при установке его параметров на оптимальные значения, составляет 1,5 кВт на холостом ходу и 2,2 кВт под нагрузкой, а удельная энергоемкость процесса очистки находится в пределах 0,26...0,33 кВт-ч/т.

6. Увеличение частоты вращения барабанов и высоты утолщений на дисках ведет к уменьшению потерь корнеплодов в процессе очистки. При установке параметров гофрощеточного очистителя на их оптимальные значения потери корнеплодов при очистке не превышают 3,41...5,77%.

7. На основе аналитических и экспериментальных исследований разработана методика расчета рабочих параметров очистителей корнеплодов гофрощеточного типа. Полученные расчетные данные использованы при проектировании опытных образцов гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГОФРОЩЕТОЧНОГО ОЧИСТИТЕЛЯ КОРМОВЫХ КОРНЕПЛОДОВ

5.1 Расчет технико-экономической эффективности применения гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов

Целью создания новых и усовершенствования существующих конструкций машин и устройств для механизации животноводства является повышение их эксплуатационных и зоотехнических показателей, в результате чего получается определенный экономический эффект. Экономический эффект будет определяться путем сопоставления затрат на выполнение технологического процесса или операции при помощи вновь созданной или усовершенствованной машины и базового образца.

Показатели экономической эффективности разработанного очистителя определялись согласно данных эксплуатационных испытаний по методике, изложенной в ГОСТ Р 53056–2008 [55] [169]. Экономическая эффективность использования гофрощеточного очистителя определена на основе действующих методик и нормативных документов [55, 63, 122-123, 136, 169] при среднегодовом уровне инфляции в ценах IV квартала 2014 года. Исходные данные для расчета экономической эффективности использования предлагаемого гофрощеточного очистителя корнеплодов представлены в таблице 5.1.

Источником образования экономического эффекта при работе гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов в составе кормоприготовительного цеха, служит экономия пресной воды и электрической энергии, а также возвращенная обратно на поля почва после механической (безводной) очистки корнеплодов (плодородный слой земли).

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета экономической эффективности использования гофрощеточного очистителя корнеплодов

№ п/п	Наименование показателей	Обозначения	Единицы измерения	Численное значение	
				Измельчитель-камнеуловитель ИКМ-5	Новый гофрощеточный очиститель
1	Масса машины	m	кг	950	450
2	Среднегодовая загрузка	T_g	ч	236	236
3	Производительность	W	т/ч	5,0	5,0
4	Потребляемая мощность	N	кВт	10,5	2,2
5	Расход воды	q_v	м ³ /ч	0,17	-
6	Затраты на материалы и покупные изделия	C_d	руб	-	82290
7	Норма отчислений: - на амортизацию - на ТО и ремонт	α	%	14,3	14,3
		ε	%	18	18
8	Трудоемкость монтажно-сборочных работ 6 разряда	T_{em}	чел-ч	-	29
9	Часовая тарифная ставка рабочего 6 разряда	T_{nac}	руб	102,96	102,96
10	Годовой объем загрязненных сточных вод	B_b	м ³	353	-
11	Годовой объем обрабатываемых корнеплодов	W_g	т	1176	1176
12	Количество обслуживающего персонала	L	чел	2	1
13	Норма доходности (банковская кредитная ставка)	E	%	18	18
14	Годовой уровень инфляции	r	%	7,1	7,1
15	Налоговая ставка на прибыль	α_n	%	20	20
16	Балансовая стоимость машины	B_b	руб	173700	117451,61

Расчет экономической эффективности будем вести на примере типового кормоцеха КОРК-15-2 (шифр проекта ЖТК 3-01) производительностью 5...10т/ч с применением его для молочной фермы на 400 голов [163, с. 142], в котором для гидромеханической очистки корнеплодов используют мойку ИКМ-5 [154, 162, 163]. Техническая характеристика моечных машин – измельчителей приведена в приложении Н.

Для определения оптовой цены гофрощеточного очистителя используем упрощенный способ расчета цены машины по сопоставимому весу [55]:

$$Z_{opn} = Z_{opb} \cdot \frac{m_n}{m_b} \quad (5.1)$$

где Z_{opn} , Z_{opb} – оптовая цена, соответственно, новой машины и базового образца, руб.;

m_n и m_b – масса, соответственно, новой машины и базового образца, кг.

Капиталовложения в предлагаемый очиститель складываются из следующих составляющих:

$$K_n = \tilde{N}_d + TZ + \tilde{N}_z + OP + OX, \quad (5.2)$$

где C_d – стоимость деталей и покупных изделий, руб.;

TZ – транспортно-заготовительные расходы, руб.;

C_z – затраты на оплату труда при изготовлении очистителя, руб.;

OP – общепроизводственные расходы, руб.;

OX – общехозяйственные расходы, руб.

Расчет транспортно-заготовительных расходов произведен в процентах от стоимости покупных материалов и изделий:

$$TZ = \frac{\tilde{N}_d \cdot \mu_r}{100}, \quad (5.3)$$

где TZ – транспортно-заготовительные расходы, руб.;

μ_r – процент транспортно-заготовительных расходов (по фактическим данным сельскохозяйственных предприятий, составляет 20%).

Оплата труда на изготовление предлагаемого очистителя определена по формуле:

$$C_z = OT_{tar} \cdot \alpha_n \cdot \alpha_{dop} \cdot \alpha_{ot}, \quad (5.4)$$

где OT_{tar} – тарифная оплата труда, руб.;

α_n – коэффициент, учитывающий премии по фонду оплаты труда, принимаем в размере 1,2...1,4;

α_{dop} – коэффициент, учитывающий размеры дополнительной оплаты труда, принимаем в размере 1,12...1,16;

α_{ot} – коэффициент, учитывающий отчисления на все виды страхования, принимаем 1,271.

Тарифную оплату труда определяем по формуле:

$$\hat{I}O_{tar} = O_{em} \cdot \tau_{nac}, \quad (5.5)$$

где T_{em} – трудоемкость работ, необходимых для изготовления экспериментального очистителя, чел.- ч.;

τ_{nac} – часовая тарифная ставка, соответствующая разряду работника, руб. (таблица 5.1).

Определение общепроизводственных и общехозяйственных затрат производим по формулам (5.6) и (5.7):

$$OP = \frac{OT_{tar} \cdot \mu_{op}}{100}, \quad (5.6)$$

где μ_{op} – процент общепроизводственных расходов.

$$OX = \frac{OT_{tar} \cdot \mu_{ox}}{100}, \quad (5.7)$$

где μ_{ox} – процент общехозяйственных расходов.

Затраты труда на 1 тонну обрабатываемых кормовых корнеплодов определяем по формуле:

$$T_o = \frac{L}{W}, \quad (5.8)$$

где T_o – трудоемкость операции, чел-ч/т;

W – производительность очистителя за час сменного времени, т/ч. По

данным испытаний и практических работ на местах [36, 56, 65, 72, 110] мойка-измельчитель типа ИКМ-5 обеспечивает номинальную производительность только на малозагрязненных корнеплодах (3...6% примесей по массе), а с увеличением их загрязненности до 20% производительность машины уменьшается более чем в 2 раза. В расчетах примем производительность мойки-измельчителя и гофрощеточного очистителя 5т/ч.

L – количество обслуживающего персонала, чел.

Степень снижения трудоемкости C_T определим по формуле:

$$C_T = \frac{T_{ou} - T_{on}}{T_{ou}} \cdot 100\% \quad (5.9)$$

Величину эксплуатационных расходов определяем по следующей формуле:

$$I_{ud} = (O_T + A + P_T + E + B) \cdot p, \quad (5.10)$$

где I_{ud} – прямые эксплуатационные затраты, руб./т;

O_T – оплата труда с отчислениями на социальные нужды, руб./т;

A – амортизационные отчисления, руб./т;

P_T – затраты на ремонты и техобслуживание очистителя, руб./т;

E – затраты на электроэнергию, руб./т;

B – затраты на воду, руб./т;

p – коэффициент, учитывающий прочие прямые затраты, $p = 1,05$.

Оплату труда с начислениями на социальные нужды рассчитываем по формуле:

$$O_T = T_o \cdot \tau_{nac} \cdot \alpha_n \cdot \alpha_{dop} \cdot \alpha_{oth}, \quad (5.11)$$

где T_o – трудоемкость операции, чел-ч/т.

Амортизационные отчисления A рассчитываем по формуле:

$$A = \frac{B_b \cdot a\%}{W_g \cdot 100}, \quad (5.12)$$

где B_b – балансовая стоимость машины, руб.;

a – норма ежегодных амортизационных отчислений, %.

W_g – годовой объем обрабатываемых корнеплодов, для молочной фермы на 400 голов годовая потребность в кормовых корнеплодах, за 210 дней стойлового периода при скармливании 14кг корнеплодов в сутки на одну корову, составляет 1176т;

Затраты на ремонт и техобслуживание определяем по формуле:

$$P_T = \frac{B_b \cdot p\%}{W_g \cdot 100}, \quad (5.13)$$

где P_T – затраты на ремонт и техобслуживание, руб./т;

p – норма ежегодных отчислений на ремонты, %.

Затраты на электроэнергию E определяем по формуле:

$$E = \frac{N \cdot S_E}{W_g}, \quad (5.14)$$

где N – установленная мощность электродвигателя очистителя, кВт;

S_E – отпускной тариф 1 кВт-ч, примем $S_E = 4,04$ руб.

Затраты на воду B определяем по формуле:

$$B = \frac{q_B \cdot S_B}{W_g}, \quad (5.15)$$

где q_B – расход пресной воды за 1 час эксплуатационного времени, для

ИКМ-5 $q_B = 170$ л/ч = $0,17$ м³/ч;

S_B – отпускной тариф 1 м³ пресной воды для предприятий, примем $S_B = 12,5$ руб.

Удельную экономию эксплуатационных затрат определяем по выражению:

$$E_z = I_u^{yd} - I_n^{yd}, \quad (5.16)$$

где E_z – удельная экономия эксплуатационных затрат, руб./т;

I_u^{yd} и I_n^{yd} – прямые эксплуатационные затраты в исходном и проектируемом вариантах соответственно, руб./т.

Степень уменьшения удельных эксплуатационных затрат C_z (%):

$$C_z = \frac{I_u^{yd} - I_n^{yd}}{I_u^{yd}} \cdot 100, \quad (5.17)$$

Расчет удельной материалоемкости процесса механической очистки корнеплодов производим по формуле:

$$M_y = \frac{m}{W_g}, \quad (5.18)$$

Степень снижения материалоемкости C_M (%):

$$C_M = \frac{M_u^y - M_n^y}{M_u^y} \cdot 100, \quad (5.19)$$

где M_u^y и M_n^y – удельная материалоемкость процесса очистки корнеплодов в исходном и проектируемом вариантах, кг/т.

Удельную энергоемкость процесса F_y (кВт-ч/т) определяем по формуле:

$$F_y = \frac{F_r}{W_g}, \quad (5.20)$$

где F_r – годовое потребление электроэнергии, кВт-ч, определяется соотношением $F_r = N_e \cdot T_r$, где N_e – номинальная мощность очистителя, кВт; T_r – среднегодовая загрузка базового образца и новой машины, ч. T_r определяем по формуле:

$$T_r = \frac{m_i \cdot q_i}{W} \cdot N_{cn} \quad (5.21)$$

где: m_i – количество животных в коровнике, голов;

q_i – суточная норма выдачи корнеплодов на одно животное за сутки, кг;

W – производительность машины, кг/ч;

N_{cn} – количество дней стойлового периода, примем $N_{cn} = 210$ дн.

Степень снижения энергоемкости C_F (%) процесса очистки корнеплодов:

$$C_F = \frac{F_u^y - F_n^y}{F_u^y} \cdot 100, \quad (5.22)$$

где F_u^y и F_n^y – удельная энергоемкость процесса в исходном и проектируемом вариантах, кВт -ч/т;

Годовой экономический эффект E_{GZ} (руб.) от использования новой машины определяется по общепринятой методике (таблица 5.2) [63, 122-123, 136]:

$$E_{GZ} = \dot{Y}_Z \cdot W_n^g + D_{eb} + D_{bg}, \quad (5.23)$$

где W_n^g – годовой объем обрабатываемых корнеплодов для проектируемого варианта, т.

D_{eb} – денежная оценка дополнительного экономического эффекта от экономии пресной воды;

D_{bg} – денежная оценка дополнительного экономического эффекта от возврата сухой почвы (гумуса) на поля.

При гидромеханической очистке корнеплодов повышенной загрязненности (до 20% по массе) расход воды может составлять 300...400л на каждую тонну обрабатываемых корнеплодов. С учетом годового объема обрабатываемых корнеплодов $W_g = 1176$ т образуется порядка $B_{gb} = 0,3 \cdot 1176 = 353$ м³ загрязненных стоков. Примем стоимость 1м³ технической воды $Z_b = 12,5$ руб [63]. Тогда дополнительный экономический эффект от экономии пресной воды составит:

$$D_{eb} = B_{gb} \cdot Z_b = 353 \cdot 12,5 = 4412,5 \text{ руб.}$$

Произведем денежную оценку дополнительного экономического эффекта от возврата сухой почвы (гумуса) на поля [72, 117]. При минимальной загрязненности корнеплодов (1% по массе) в нашем случае на поля можно вернуть 11,8т гумуса, что эквивалентно 206930МДж энергии или это эквивалентно 590кг азота, 295кг фосфора, 707,5кг калия и 1061,4кг кальция. В стоимостном выражении при тарифе 4,04 руб/кВт-ч для предприятий в полупиковый период, и соотношении 1МДж = 0,277кВт-ч, дополнительный экономический эффект от возврата сухой почвы на поля равен:

$$D_{bg} = 206930 \cdot 0,277 \cdot 4,04 = 231571,2 \text{ руб.}$$

Таблица 5.2 – Расчет экономической эффективности применения
гофрощеточного очистителя корнеплодов

Наименование показателей	Обозначение	Единиц. измер.	Числовые значения	
			ИКМ-5	ГЩО
1. Удельные эксплуатационные затраты, в том числе:	$I_{ud} = (O_T + A + P_T + E + B) \cdot p$	руб./т	397,55	80,37
- отчисления на амортизацию	$A = \frac{B_b \cdot \dot{\alpha}\%}{W_g \cdot 100}$	руб./т	21,12	14,28
- отчисления на ремонт и техобслуживание	$P_T = \frac{B_b \cdot p\%}{W_g \cdot 100}$	руб./т	26,59	12,55
- затраты на электроэнергию	$E = \frac{N \cdot S_E}{W_g}$	руб./т	8,48	1,78
- затраты на воду	$B = \frac{q_B \cdot S_B}{W_g}$	руб./т	0,43	-
- оплата труда с начислениями	$O_T = T_o \cdot \tau_{nac} \cdot \alpha_n \cdot \alpha_{dop} \cdot \alpha_{oth}$	руб./т	85	42,5
2. Удельная экономия эксплуатац. затрат	$E_z = I_u^{yd} - I_n^{yd}$	руб./т	-	317,18
3. Степень уменьшения удельных эксплуатац. затрат	$C_z = \frac{I_u^{yd} - I_n^{yd}}{I_u^{yd}} \cdot 100$	%	-	79,8
4. Удельная материалоемкость	$M_y = \frac{m}{W_{rod}}$	кг/т	0,81	0,38
5. Степень снижения материалоемкости	$C_M = \frac{M_u^y - M_n^y}{M_u^y} \cdot 100$	%	-	53,1
6. Дополнительный эконом. эффект от экономии пресной воды	$D_{eb} = B_{gb} \cdot Z_b$	руб.	-	4412,5
7. Эконом. эффект от возврата сухой почвы	D_{bg}	руб.	-	231571,2
8. Удельная энергоемкость очистки	$F_y = \frac{F_r}{W_g}$	кВт-ч/т	2,1	0,44
9. Степень снижения энергоемкости очистки	$C_F = \frac{F_u^y - F_n^y}{F_u^y} \cdot 100$	%	-	79
10. Годовой экономический эффект	$E_{GZ} = \dot{Y}_Z \cdot W_n^g + D_{eb} + D_{bg}$	руб.	-	608987,4
11. Чистые денежные поступления	$P_h = E_{GZ} - E_{GZ} \cdot \alpha_n$	руб.	-	487190
12. Срок окупаемости очистителя	$T_{ok} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{\dot{E}_{pr} \cdot E_r}{P_h + (A_{ish} - A_{pr}) \cdot W^{pr_s}}\right)}{\ln(1 + E_n)}$	лет	-	0,41

При определении чистых денежных поступлений учитываем налоговые затраты на прибыль в размере 20%:

$$P_h = E_{GZ} - E_{GZ} \cdot \alpha_n, \quad (5.24)$$

где α_n – налоговая ставка на прибыль.

Длительность окупаемости капвложений определяем по выражению:

$$T_{ok} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{\hat{E}_{pr} \cdot E_r}{P_h + (A_{ish} - A_{pr}) \cdot W^{prg}}\right)}{\ln(1 + E_p)}, \quad (5.25)$$

где E_p – норма дисконта капитала с поправкой на инфляцию:

$$E_p = \frac{1 + E}{1 + r} - 1, \quad (5.26)$$

где r – уровень инфляции, %;

E – кредитная ставка банка, %.

Результаты расчета экономической эффективности применения гофрощеточного очистителя представлены в таблице 5.2. В результате расчета экономической эффективности использования нового гофрощеточного очистителя корнеплодов по отношению к измельчителю-камнеуловителю-мойке ИКМ-5 годовой экономический эффект составит 608987,4 руб. Срок окупаемости от внедрения разработанного очистителя в производство составит 0,41 года. При этом удельная экономия эксплуатационных затрат, в сравнении с базовым вариантом, составит 317,18 руб./т, а степень снижения материалоемкости и энергоемкости процесса очистки составит, соответственно, 53,1 и 79%.

5.2 Рекомендации по использованию гофрощеточного очистителя корнеплодов и внедрению его в производство

Одним из путей увеличения производства продукции животноводства с одновременным снижением ее себестоимости является более рациональное использование в рационах животных корнеплодов, обладающих высокой

кормовой ценностью и большой урожайностью. Однако широкому внедрению этих кормов в практику препятствует отсутствие простых технологий и технических средств для подготовки их к скармливанию. Корнеплоды обычно загрязнены землей, песком и могут содержать посторонние примеси (камни, куски дерева, металла и др.), поэтому перед скармливанием животным их необходимо обязательно очищать. Фактическая загрязненность корнеклубнеплодов после уборки может достигать 12...20% по массе и более. Допускаемая же загрязненность после очистки должна быть не более 2...3%.

В результате анализа литературных источников нами было установлено преимущество гофрощеточного очистителя для механической (безводной) очистки корнеплодов по сравнению с другими типами очистителей. В процессе выполнения диссертационной работы замечено, что эффективность очистки корнеплодов от связанной почвы зависит от интенсивности воздействия рабочих органов на корнеплоды.

С целью увеличения интенсивности процесса механической (безводной) очистки корнеплодов в очистителе нами предложена новая конструкция рабочих органов в форме цилиндрических вращающихся наклонно расположенных щеточных барабанов, состоящих из набора опорных дисков с эллиптическими утолщениями на них и криволинейного гофрополосного ворса между ними. В результате выполненных теоретических и лабораторных испытаний в лаборатории сепарации сыпучих материалов Луганского национального университета имени Т. Шевченко нами был разработан гофрощеточный очиститель для механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов от свободных и налипших примесей, а также установлены его оптимальные кинематические и конструктивные параметры. Гофрощеточный очиститель корнеплодов с рабочими элементами в форме криволинейных (гофрированных) ворсин или полосок признан полезной моделью и защищен патентом Украины № 76128 от 25.12.2012г, бюл. № 24 (приложение Б).

Преимущество разработанного гофрощеточного очистителя заключается в том, что за счет соответствующей установки частоты и направления вращения гофрощеточных барабанов, углов их подъема и наклона к горизонту, обеспечивается сложное циклическое движение корнеплодов внутри рабочего объема очистителя. В результате этого осуществляется интенсивная очистка поверхностей корнеплодов от налипшей почвы и свободных примесей. За счет использования в конструкции гофрощеточного очистителя в качестве рабочих органов регулируемой заслонки и попарно установленных гофрощеточных барабанов, основу которых составляют эластичные диски с дополнительными эллиптическими утолщениями на них и наборы гофрированных полос или ворсин криволинейной формы «пильчатого» профиля, увеличивается копирующая и счесывающая способность рабочих элементов, т.е. повышается качество поверхностной очистки кормовых корнеплодов сухим способом без применения воды.

Разработанный гофрощеточный очиститель корнеплодов может найти применение в хозяйствах различной формы собственности:

- в фермерских хозяйствах как в отдельном использовании на животноводческих фермах, так и в составе поточной технологической линии подготовки корнеклубнеплодов в специализированных или комбинированных кормоприготовительных цехах, предназначенных для приготовления многокомпонентных кормосмесей непосредственно перед скармливанием сельскохозяйственным животным;

- в технологических линиях стационарных хранилищ корнеклубнеплодов, выгрузные механизмы которых заблокированы или не заблокированы с оборудованием кормоцехов;

- на мобильных машинах типа свеклопогрузчика-очистителя СПС-4,2А и прицепного подборщика-очистителя ПНБВ-1,6 для подбирания валков корнеплодов кормовой и сахарной свеклы на поле, очистки их от почвы, растительных остатков и загрузки в рядом идущие транспортные средства.

Рекомендуемая схема использования гофрощеточного очистителя в линии корнеклубнеплодов кормоцеха КОРК-15-2 представлена на рисунке 5.1.

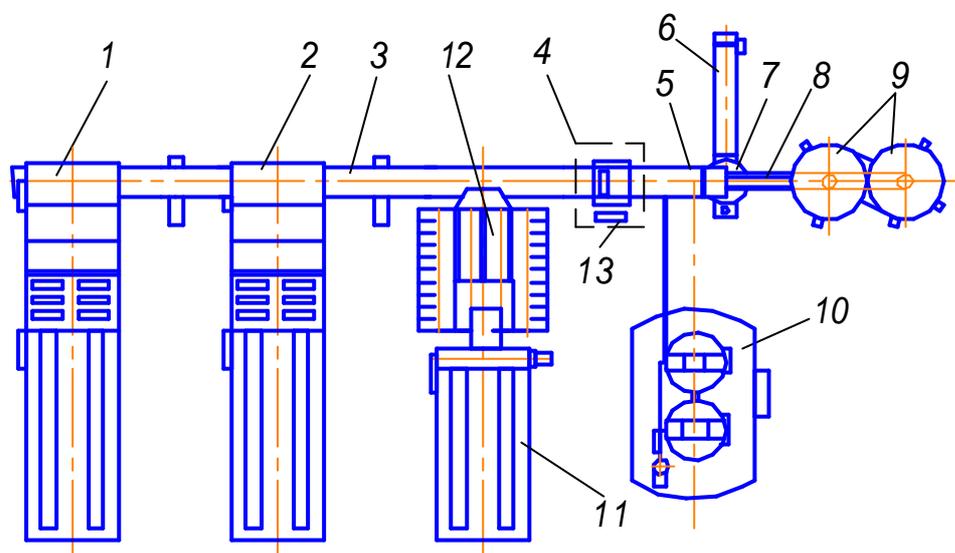


Рисунок 5.1 – Рекомендуемая схема использования гофрощеточного очистителя в линии подготовки корнеклубнеплодов кормоцеха КОРК-15-2: 1,2 – питатели-дозаторы грубых кормов и силоса; 3,5 – сборные ленточно-планчатые конвейеры; 4 – площадка для обслуживания; 6 – выгрузной транспортер; 7 – измельчитель-смеситель кормов ИСК-3; 8 – шнек; 9 – бункер-дозатор концентрированных кормов; 10 – установка для приготовления и дозированной подачи питательных растворов; 11 – бункер-питатель корнеклубнеплодов ТК-5Б; 12 – гофрощеточный очиститель корнеплодов; 13 – пульт управления

На рисунке 5.2 представлена рекомендуемая схема использования гофрощеточного очистителя в составе технологической линии стационарного хранилища корнеклубнеплодов.

Данные схемы (рисунки 5.1...5.3) предусматривают механическую очистку корнеплодов от посторонних примесей без применения воды. Это позволит снизить затраты ресурсов: воды, электроэнергии и горюче-смазочных материалов на транспортировку загрязненных корнеклубнеплодов

между полем, хранилищем и кормоцехом и упростить конструкцию самого кормоцеха.

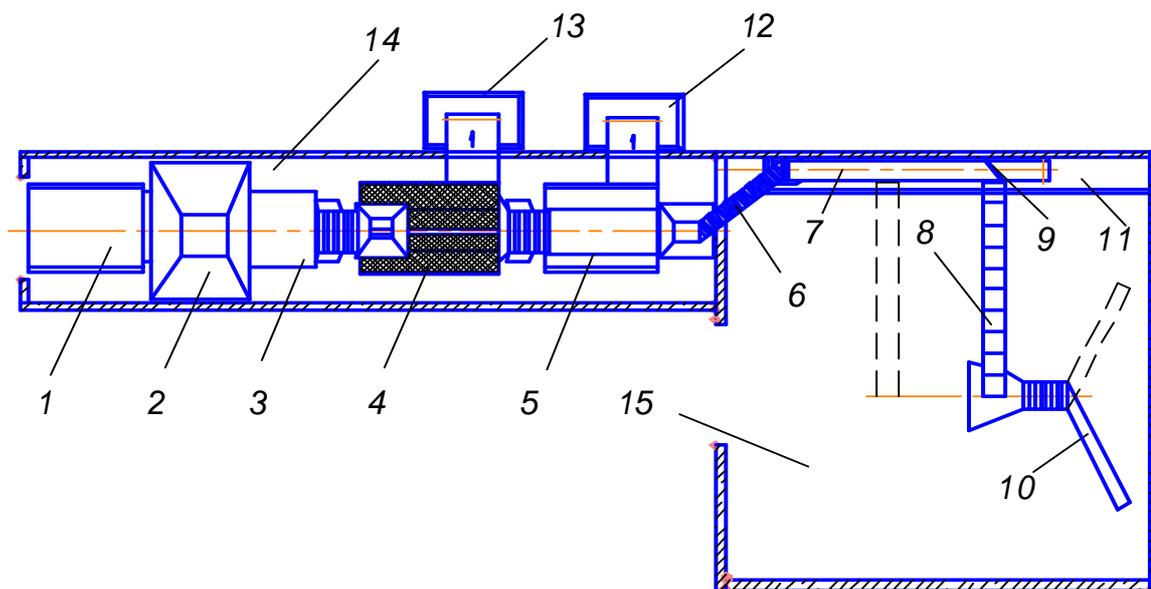


Рисунок 5.2 – Рекомендуемая схема использования гофрощеточного очистителя в составе технологической линии стационарного хранилища корнеклубнеплодов: 1 – эстакада; 2 – надставка к бункеру; 3 – приемный бункер; 4 – гофрощеточный очиститель корнеплодов; 5 – переборочный стол; 6,7 – подъемный и горизонтальный транспортеры; 8 – консольный транспортер; 9 – скидывающее устройство; 10 – транспортер-загрузчик ТЗК-30А; 11 – боковой вентиляционный канал; 12 – бункер некондиционных корнеклубнеплодов; 13 – бункер примесей; 14 – навес; 15 – хранилище

На рисунке 5.3 представлена рекомендуемая схема использования гофрощеточного очистителя на мобильном свеклопогрузчике-очистителе СПС-4,2А.

Рекомендуемые оптимальные параметры гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов при использовании его в фермерских хозяйствах, кормоцехах и специализированных хранилищах:

- частота вращения гофрощеточных барабанов $\omega = 16,2 \text{ с}^{-1}$;
- диаметр гофрощеточных барабанов $D = 0,42 \text{ м}$;
- длина гофрощеточных барабанов $L = 0,8 \text{ м}$;

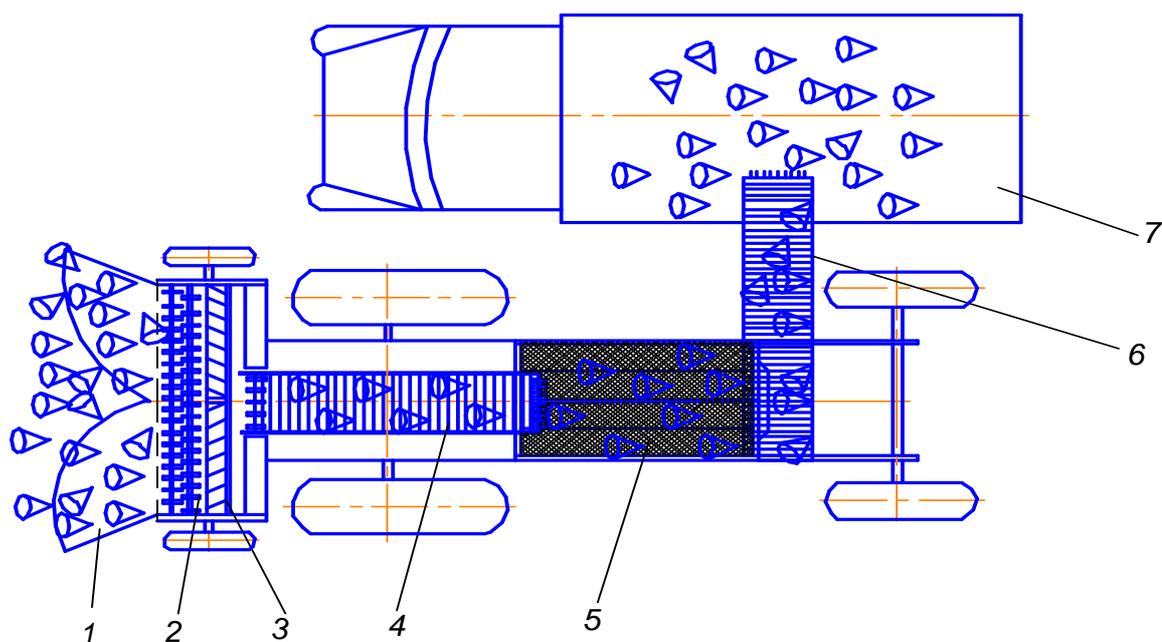


Рисунок 5.3 – Рекомендуемая схема использования гофрощеточного очистителя на мобильном свеклопогрузчике-очистителе типа СПС-4,2А: 1 – подгребальные щитки; 2 – кулачковый питатель; 3 – приемный шнековый транспортер; 4 – продольный транспортер; 5 - гофрощеточный очиститель корнеплодов; 6 – выгрузной элеватор; 7 – транспортное средство

- высота эллиптических утолщений на дисках $h = 0,015$ м;
- угол подъема боковых барабанов $\mu = 40...50^\circ$;
- угол наклона гофрощеточных барабанов к горизонту $\gamma = 6...9^\circ$;
- зазор между гофрощеточными барабанами и заслонкой $s = 0...30$ мм.

Акт внедрения рекомендаций по использованию разработанного гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов, переданный Управлению агропромышленного развития Троицкой райгосадминистрации в Луганской области, представлен в приложении Б. Акт внедрения рекомендаций по использованию разработанного очистителя, переданный в крестьянско-фермерское хозяйство «Л.Е.Н.А.» Троицкого района Луганской области, представлен в приложении В. Конструкция гофрощеточного очистителя и соответствующее методическое обеспечение внедрены в учебный процесс на Старобельском факультете ГУ «Луганский национальный университет имени Т.

Шевченко» (приложение Г). Кроме того, результаты научных исследований, в рамках соглашения о творческом сотрудничестве, переданы Пекинскому международному культурному центру, с целью дальнейшей производственной проверки в животноводческих хозяйствах КНР (приложение Д).

Выводы

1. Техничко-экономические расчеты показали, что при сопоставлении затрат на выполнение технологического процесса очистки корнеплодов предлагаемым гофрощеточным очистителем и базовой машиной ИКМ-5, экономический эффект достигается за счет снижения удельных эксплуатационных затрат.
2. Применение предлагаемого гофрощеточного очистителя корнеплодов позволит получить годовой экономический эффект (с учетом экономического эффекта от экономии воды и возврата сухой почвы на поля) по отношению к мойке-измельчителю-камнеуловителю ИКМ-5 608987,4 руб., при этом срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составит 0,41 года;
3. Использование гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов позволит уменьшить удельные эксплуатационные затраты на 79,8%, снизить энергоемкость и материалоемкость процесса очистки, соответственно, на 79 и 53,1%.
4. Разработаны рекомендации по использованию гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов для фермерских хозяйств и сельскохозяйственных предприятий, как в отдельном использовании на животноводческих фермах, так и в составе технологической линии подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию в кормоприготовительных цехах, на мобильных свеклопогрузчиках-очистителях типа СПС-4,2А и ПНБ-1,6, а также в технологических линиях стационарных хранилищ корнеклубнеплодов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены пути повышения эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию сельскохозяйственным животным. Для механической (безводной) очистки кормовых корнеплодов от примесей целесообразно применение гофрощеточного очистителя со щеточными рабочими элементами криволинейной формы «пильчатого» профиля. Новизна технических решений в предложенной конструкции очистителя подтверждена патентами Украины № 76128, № 33962, № 10482 и № 10488.

2. Разработана математическая модель, позволяющая определить рациональные кинематические и конструктивные параметры предлагаемой конструкции гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов. Установлены факторы, влияющие на процесс, их интервалы варьирования. Определены условия, необходимые для осуществления процесса механической (безводной) очистки.

3. Теоретическими и экспериментальными исследованиями изучено влияние кинематических режимов и конструктивных параметров рабочих органов очистителя на эффективность очистки корнеплодов. Установлены оптимальные параметры очистителя: частота вращения гофрощеточных барабанов $16,19 \text{ с}^{-1}$, диаметр гофрощеточных барабанов 0,42 м, длина гофрощеточных барабанов 0,8 м, высота эллиптических утолщений на дисках 0,015 м. Рациональный угол наклона гофрощеточного очистителя к горизонту $6...9^\circ$, величина зазора между гофрощеточными барабанами и заслонкой 0...30 мм, плотность набора гофрополосного ворса на барабанах $0,18 \text{ шт/см}^2$, рациональный диаметр и шаг расположения опорных дисков по длине барабана, соответственно, 0,255 м и 0,08 м.

Использование гофрощеточного очистителя корнеплодов обеспечивает эффективность очистки от всех примесей до 88...92 % при начальной загрязненности связанной почвой 1,5...10 % и свободными примесями 5...20

%. Наибольшая эффективность очистки корнеплодов от связанной почвы составила 76...78 %, при этом остаточная загрязненность и потери массы корнеплодов при очистке не превышают допустимых зоотехническими требованиями пределов.

4. Произведена проверка разработанного гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов в производственных условиях. Выполненный технико-экономический анализ показывает, что использование гофрощеточного очистителя в линии обработки корнеплодов в составе кормоцефа КОРК-15-2 позволит получить годовой экономический эффект в размере 608987,4 руб. Срок окупаемости от внедрения разработанного очистителя в производство составит 0,41 года. При этом удельная экономия эксплуатационных затрат, в сравнении с базовым вариантом, составит 317,18 руб./т, а степень снижения материалоемкости и энергоемкости процесса очистки составит, соответственно, 53,1 и 79 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Berghof L. Zur Verlustkontrolle in der Zuckerrübenernte/ L. Berghof, P. Winter // Feldwirtschaft. – 1978. – № 9. – S. 408.
2. Bounan A. The cleaning of potatoes after harvest / A. Bounan // Meet. Enngg Seet. European Assn Potate Res. – Wageningen, 1980. – P. 9 – 13.
3. Gerdes G. Ertrag und Qualität von Futterrüben bei verschiedenen Ernteverfahren / G. Gerdes, G. Walter // Feldwirtschaft. – 1986. – № 9. – S. 409.
4. Gerdes G. Schlußfolgerungen aus wechselnden Witterungsbedingungen in der Zuckerrübenernte / G. Gerdes, R. Mentele // Feldwirtschaft.–1978.–№ 9 – S. 401.
5. Hessland F. Maßnahmen zur Senkung des Besatzes und zur Erhöhung der Lagerfähigkeit der Zuckerrüben / F. Hessland, H. Bauer // Feldwirtschaft. – 1978. – № 9. – S. 410.
6. Hinz E. Untersuchungsergebnisse zu Mechanisierungslösungen für die Futterrübenenernte / E. Hinz, H. Krüger // Feldwirtschaft. – 1985. – № 2. – S. 60.
7. Knoch R. Möglichkeiten der Reduzierung der Knollenbelastung durch Minderung der Fallstufen und Übergaben in Aufbereitungsprozessen der ALV-Anlagen für Pflanzkartoffeln / R. Knoch, W. Penndorf // Feldwirtschaft. – 1986. – № 7. – S. 316.
8. Koschitzke E. Hinweise zur Einstellung der Maschinen zur Zuckerrübenernte / E. Koschitzke // Feldwirtschaft. – 1985. – № 9. – S. 402.
9. Koschitzke E. Über Komplexgrößen in der Zuckerrübenernte / E. Koschitzke // Feldwirtschaft. – 1978. – № 9. – S. 404.
10. Kuzniewicz M. Lagerungsverluste bei Kartoffeln in Abhängigkeit von unterschiedlichen Aufbereitungsterminen / M. Kuzniewicz // Feldwirtschaft. – 1986. – № 7. – S. 314.
11. Mührel K. Rationalisierung des Transportes von Zuckerrüben / K. Mührel // Feldwirtschaft. – 1978. – № 9. – S. 407.

12. Nonn H. Konservierende Lagerung von Rüben für Futterzwecke / H. Nonn, M. Zausch // Feldwirtschaft. – 1985. – № 2. – S. 66.
13. Sulek E. Zum Einfluß arbeitswirtschaftlicher Faktoren auf den Pflanzenbestand, die Ernteverluste und den Ertrag in der Zuckerrübenproduktion / E. Sulek, E. Reule // Feldwirtschaft. – 1985. – № 9. – S. 398.
14. А. с. 1056947 СССР, МКИ³ А 01 D 33/08. Очистительно-транспортирующее устройство для корнеплодов / А.А. Михайлов, Л.С. Паньков, П.Г. Ковальчук, Л.И. Сафронова, С.В. Есьман (СССР). – № 982570/ 33–08 ; заявл. 17.05.82 ; опубл. 30.11.83, Бюл. № 44.
15. А. с. 1138066 СССР, МКИ⁴ А 01 D 33/08. Транспортер-очиститель корнеклубнеплодов / М.Г. Данильченко, И.Н. Маркович, Г.Н. Смакоуз (СССР). – № 280079/ 33–08 ; заявл. 22.09.83 ; опубл. 07.02.85, Бюл. № 5.
16. А. с. 1217288 СССР, МКИ⁴ А 01 D 33/08. Устройство для очистки корней сахарной свеклы от примесей / А.В. Байко (СССР). – № 130731/ 17–03 ; заявл. 06.11.84 ; опубл. 15.03.86, Бюл. № 10.
17. А. с. 1344274 СССР, МКИ⁴ А 01 D 33/08. Устройство для очистки от примесей корней / А.В. Байко, Б.И. Куцев, В.Н. Лукашевский, А.С. Марков (СССР). – № 1217288/ 33–08 ; заявл. 11.06.85 ; опубл. 15.10.87, Бюл. № 38.
18. А. с. 1447310 СССР, МКИ⁴ А 01 D 33/08. Устройство для очистки корнеклубнеплодов от примесей / Г.Н. Смакоуз, Я.И. Козиброда, И.Я. Шутурма, Ю.И. Мирошниченко, Р.Б. Гевко (СССР). – № 1138066/ 33–08 ; заявл. 02.06.87 ; опубл. 30.12.88, Бюл. № 48.
19. А. с. 1584846 СССР, МКИ⁵ А 01 К 5 / 00. Питатель корнеклубнеплодов / С.М. Доценко, Ю.Н. Нагорный, И.В. Злыгостев (СССР). – № 1416089/ 5–00 ; заявл. 22.07.88 ; опубл. 15.08.90, Бюл. № 30.
20. А. с. 1625400 СССР, МКИ⁵ А 01 D 33/08. Щеточный очиститель корнеклубнеплодов / П.И. Леонтьев, П.И. Пороховский, Л.И. Слав, В.М. Архиреев (СССР). – № 1433432/ 33–08; заявл. 30.03.89 ; опубл. 07.02.91, Бюл. № 5.

21. А. с. 1655340 СССР, МКИ⁵ А 01 К D 33/08. Устройство для очистки корнеплодов / Р.Л. Глухих, Ф.В. Микитюк, М.П. Зозуляк (СССР). – № 1233824 / 33-08 ; заявл. 25.01.89 ; опубл. 15.06.91, Бюл. № 22.
22. А. с. 1662399 СССР, МКИ⁵ А 01 К D 33/08. Устройство для очистки корнеклубнеплодов от примесей / С.М. Доценко, И.В. Злыгостев (СССР). – № 2462128/ 171-25 ; заявл. 18.08.88 ; опубл. 15.07.91, Бюл. № 26.
23. А. с. 1692342 СССР, МКИ⁵ А 01 D 33/08. Устройство для очистки корнеплодов от примесей / П.Ю. Зыков, В.М. Булгаков, И.Г. Орел, А.С. Староминский (СССР). – № 1308239/ 33–08 ; заявл. 06.10.89 ; опубл. 23.11.91, Бюл. № 43.
24. А. с. 1720539 СССР, МКИ⁵ А 01 К D 33/08. Транспортер – очиститель корнеклубнеплодов / В.А. Сысуев, Н.Ф. Баранов, В.И. Рублев, О.В. Суханов (СССР). – № 923506 / 12-02 ; заявл. 21.03.89 ; опубл. 23.03.92, Бюл. № 11.
25. А. с. 1727642 СССР, МКИ⁵ А 01 К D 33/08. Устройство для очистки корнеплодов от загрязнений / А.В. Титенюк (СССР). – № 1282844 / 33-08 ; заявл. 14.07.89 ; опубл. 23.04.92, Бюл. № 15.
26. А. с. 1736367 СССР, МКИ⁵ А 01 D 33/08. Очиститель корнеплодов от примесей / В.М. Булгаков, П.Ю. Зыков, В.Н. Пришляк, А.С. Староминский (СССР). – № 1056947/ 33–08 ; заявл. 05.03.90 ; опубл. 30.05.92, Бюл. № 20.
27. А. с. 1757514 СССР, МКИ⁵ А 01 D 33/08. Очиститель корнеклубнеплодов / А.В. Байко (СССР). – № 1056947/ 33–08 ; заявл. 04.12.90 ; опубл. 30.08.92, Бюл. № 32.
28. Адлер Ю. И. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Адлер Ю. И., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
29. Андреева Л.Е. Упругие свойства приборов / Л.Е. Андреева. – М. : Машиностроение, 1962. – 455с.
30. Арданов Ч.С. Обоснование основных конструктивных и режимных параметров транспортирующего органа очистителя корнеплодов / Ч.С.

- Арданов // Сб.научн.тр. Саратовского СХИ им. Н.И. Вавилова. – Саратов : ССХИ, 1987. – т.1. – С. 48 – 53.
31. Арлачев Д. Повышение тарифов на водоснабжение в Украине с 2012г. [Электронный ресурс] / Д. Арлачев. – К. : Нацкомуслуг, 2012. – Режим доступа : <http://finmonitor.com.ua/news/3528-v-ukraine-s-2012-g-tarify-na-vodosnabzhenie-budut-zaviset-ot-obemov-potrebleniya-nackomuslug.html> .
32. Архиреев В.М. Некоторые направления модернизации щеточного очистителя корнеклубнеплодов / В.М. Архиреев, П.И. Пороховский, Слав Л.И. // Совершенствование механизации производственных процессов в животноводстве : сб.научн.тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск : Изд-во ЧИМЭСХ, 1991. – С. 31 – 34.
33. Ашмарин И.П. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов / И.П. Ашмарин, Н.Н. Васильев, В.А. Амбросов. – Л. : Изд-во Ленигр.ун-та, 1974. -76с.
34. Безруков Г.Ф. Классификация способов отделения камней от корнеклубнеплодов / Г.Ф. Безруков, Ю.К. Приекулис // Труды Латвийской сельскохозяйственной академии. – Елгава : ЛСХИ, 1991. – С.58 – 65.
35. Белов В.П. Результаты исследования процесса очистки корнеплодов / В.П. Белов, М.В. Крылов, В.М. Титов // Сб.научн.тр. НИПТИМЭСХ НЗ РСФСР. – М.: НИПТИМЭСХ, 1990. – Вып.58. – С.52 – 56.
36. Белехов І.П. Механізація і автоматизація тваринницьких ферм і комплексів : навч. посібник / І.П. Белехов, В.О. Лесников. – К. : Освіта, 1993. – 240 с.
37. Блох Л.С. Практическая номография / Л.С. Блох. – М.: Высшая школа, 1971. – 328 с.
38. Большой энциклопедический словарь. «Сельское хозяйство». – М. : - 1989. [Электронный ресурс] – Режим доступа к словарю: <http://www.cnshb.ru/AKDiL/0024/base/RS/001995.shtm>
39. Бомба М. Високі врожаї кормової свекли – реальність / М. Бомба, І. Мартинюк // Пропозиція. – 2003. - №12. – С. 50 – 51.

40. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / Боровиков В. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
41. Брагинец Н.В. Курсовое и дипломное проектирование по механизации животноводства / Н.В. Брагинец, Д.А. Палишкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1991. – 191 с.
42. Булгаков В.М. Робота барабанного очисника головок коренеплодів / В.М. Булгаков, І.В. Головач // Вісник аграрної науки : Механізація, електрифікація. – 2003. – № 1. – С. 56 – 61.
43. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2016 году. Часть 3. [Электронный ресурс]. – М. : Госкомстат, 2017. – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1265196018516.html. (Дата обращения 23.05.17).
44. Вальщиков Ю.Н. Производство, расчет и конструирование щеточных устройств / Ю.Н. Вальщиков. – Л.: ЛГУ, 1974. – С.113 – 134.
45. Василенко П.М. Механико – математические методы исследований в области сельскохозяйственной техники / П.М. Василенко // Вестник сельскохозяйственной науки. – М. :Колос, 1965. – № 5. – С.93 – 101.
46. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П.М. Василенко. – К. : Укр. акад. с. – х. наук, 1960. – 283с.
47. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199с.
48. Винтерле Г.Р. Некоторые результаты исследования рабочего органа для сухой очистки корнеклубнеплодов / Г.Р. Винтерле // Сб.научн. тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1974. – Вып .81. – С.41 – 46.
49. Винтерле Г.Р. Экспериментальные исследования процесса сухой очистки корнеплодов от земли в барабанном рабочем органе / Г.Р. Винтерле // Науч. труды Омского СХИ. – Омск : ОСХИ, 1973. – т .110. – С.68 – 72.

50. Вознесенский В.Л. Первичная обработка экспериментальных данных / В.Л. Вознесенский. – Л. : Наука, 1969. – 84 с.
51. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини : підручник / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – К : Каравела, 2004. – С.451 – 474.
52. Гевко Р.Б. Вплив зони взаємодії робочого органу очисника на кутову швидкість обертання коренеплоду / Р.Б. Гевко, І.Г. Тунік, С.В. Синій // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ. – 1997. – Т.2. – С. 28 – 31.
53. Глаголев Н.А. Курс номографии / Н.А. Глаголев. – М. : Высшая школа, 1961. – 267 с.
54. ГОСТ Р 52757 – 2007 «Машины свеклоуборочные. Методы испытаний». – М.: Стандартинформ, 2008. – 34 с.
55. ГОСТ Р 53056–2008 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки». – М.: Стандартинформ, 2009. – 23 с.
56. Гринберг В.Л. Результаты исследований способов и средств сухой очистки корнеклубнеплодов в кормоприготовлении / В.Л. Гринберг, Б.Н. Свиридовский, А.Л. Охрименко // Сб.научн.тр. ВНИИживмаш. – Киев, 1984. – Вып. 9. – С. 37 – 47.
57. Грозубинский В.А. Выбор принципа действия очистителей головок корней / В.А. Грозубинский, М.А. Мишин // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – №10. – С. 13 – 15.
58. Грозубинский В.А. Детерминированная модель повреждаемости сахарной свеклы очистителями головок корней / В.А. Грозубинский, Н.В. Татьянко, М.А. Мишин // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – №4. – С. 18 – 20.
59. Гусев Л.М. Расчет и конструирование подметально-уборочных машин / Л.М. Гусев. – Л: Машгиз. – 1963. – С.70 – 140.
60. Данильченко М.Г. Модернизированный очиститель корнеплодов / М.Г. Данильченко, В.А. Мартыненко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1990. – № 8. – С. 29.

61. Дараргайцев, В. И. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве : метод. указ. / В. И. Дарагайцев и др. – М.: ВНИИЭСХ, 2010. – 147 с.
62. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. Е.К. Лецкого. – М.: Мир, 1980. – 602 с.
63. Дикарев Ю.А. Сухая очистка корнеплодов / Ю.А Дикарев, Б.В. Кононов, Ч.Е. Агданов // Степные просторы. – 1987. – № 12. – С. 36.
64. Доманьков В.М. Исследование барабанно – шнекового очистителя корней сахарной свеклы / В.М. Доманьков, В.П. Мармалюков, В.Н. Погодин // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – № 8. – С. 27 – 29.
65. Доманьков В.М. Агрегат для очистки и измельчения корнеплодов / В.М. Доманьков, В.П. Мармалюков, Л.Н. Яковлев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1988. – №8. – С. 34 – 36.
66. Доманьков В.М. Определение размеров бичей очистителя корнеплодов / В.М. Доманьков, В.А. Агейчик // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1985. – № 10. – С. 55 – 56.
67. Доманьков В.М. Очистка и измельчение корнеплодов / В.М. Доманьков, В.П. Мармалюков // Техника в сельском хозяйстве.–1986.–№ 12. – С.16 – 17.
68. Доценко С.М. Линия очистки корнеплодов / С.М. Доценко, И.В. Злыгостев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1990. – № 9. – С. 28.
69. Дусенов М.К. Устройство для очистки корнеклубнеплодов / М.К. Дусенов // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 4. – С. 12 – 13.
70. Емельянов П.А. Прибор для определения формы семян и корнеклубнеплодов / П.А. Емельянов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1977. – № 12. – С. 43 – 44.
71. Емельянов П.А. Расчет параметров гибких упругих элементов в ориентирующих устройствах с учетом динамического изгиба / П.А.

- Емельянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 10. – С. 28 – 29.
72. Ермичев В.А. Энергосбережение в технологиях кормопроизводства / В.А. Ермичев, А.И. Куприенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 4. – С. 11 – 13.
73. Жамьянов Ч.Д. Щеточный очиститель корнеклубнеплодов / Ч.Д. Жамьянов, А.С. Таушканов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1990. – № 6. – С. 64.
74. Животноводство в России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro365.ru/zhivotnovodstvo-v-rossii-2016.html>. (Дата обращения 25.05.17).
75. Заика П.М. Избранные задачи земледельческой механики: практ. пособие / П.М. Заика. – К. : Изд – во УСХА, 1992. – 512 с.
76. Зейрук В.Н. Как снизить потери картофеля при уборке и хранении / В.Н. Зейрук // Картофель и овощи. – 2001. - №4. – С. 6 – 9.
77. Зиновьев Ю.И. Научное обоснование механизированных процессов вторичной сепарации картофеля / Зиновьев Ю.И., Зубков В.Е. – Луганск: Изд – во «Лугань», 1997. – 176 с.
78. Зубков В.Е. Научное обоснование механизированных процессов предпосадочной и послеуборочной обработки картофеля / В.Е.Зубков. – Луганск: Изд – во «Лугань», 1997. – 128 с.
79. Иващенко А.И. Пригодность картофеля к механизированной уборке / А.И. Иващенко // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1985. – № 11. – С. 18 – 19.
80. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и оборудование для приготовления кормов : Программа и методы испытаний : ОСТ 70.19.2 – 83. – [Рік перегляду в Україні 2001]. – М: Изд – во стандартов, 1984. – 118с.
81. Калашник В.Т. Ленточный кормораздатчик со щеточным разгрузочным устройством / В.Т. Калашник, В.В. Белоусов // Механизация и

- электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1977. – № 4. – С. 17 – 19.
82. Карабан Г.Л. Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов // Г.Л. Карабан, В.И. Баловнев, И.Л. Засов. – М: Машиностроение, 1975. – 368с.
83. Карпов В.В. Математическая модель движения корнеплода по ротационному гофрощеточному рабочему органу / В.В. Карпов // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. - № 1. – С. 42 - 49.
84. Карпов В.В. Методика определения коэффициентов трения скольжения кормовых корнеплодов / В.В. Карпов // научный сборник «Аграрная наука» Государственного аграрного университета Молдовы. – Кишинев : ГАУМ, Республика Молдова, 2014. - № 1. – С. 67 - 71.
85. Карпов В.В. Обоснование вида связи центробежных гирлянд центробежно-фрикционного очистителя – отделителя / В.В. Карпов // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛНАУ, 2005. - № 49 (72). – С. 129 - 132.
86. Карпов В.В. Обоснование конструктивно – технологической схемы гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов / В.В. Карпов // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛНАУ, 2013. - № 47. – С. 117 - 123.
87. Карпов В.В. Обоснование условий непровала корнеклубнеплодов в центробежном гирляндном очистителе / В.В. Карпов // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛНАУ, 2006. - № 64 (87). – С. 139 - 143.
88. Карпов В.В. Определение геометрических и кинематических параметров щеточного очистителя – отделителя корнеплодов / В.В. Карпов, В.Е. Зубков // Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛДАУ, 1999. - № 40 (10). – С. 153 - 156.

89. Карпов В.В. Оптимизация основных параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов / В.В. Карпов // Вестник аграрной науки Дона. – 2016. - № 4. – С. 11 - 17.
90. Карпов В.В. Оценка эффективности работы щеточного отделителя – очистителя по результатам двустадийных экспресс – опытов / В.В. Карпов, В.Е. Зубков // Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛДАУ, 2001. - № 10 (22). – С. 177 - 179.
91. Карпов В.В. Повышение эффективности технологического процесса подготовки кормовых корнеплодов к скармливанию животным / В.В. Карпов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічні системи і технології тваринництва». – Харків : ХНТУ, 2014. - № 144. – С. 232 - 235.
92. Карпов В.В. Построение аналитической модели движения тела по наружной поверхности цилиндрической гофрощеточки / В.В. Карпов // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛНАУ, 2013. - № 51. – С. 148 - 154.
93. Карпов В.В. Построение номограммы для определения параметров гофрощеточного очистителя корнеклубнеплодов / В.В. Карпов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул: ФГБОУ ВПО «АГАУ», 2014. - № 1 (111). – С. 91 - 93
94. Карпов В.В. Предварительное обоснование основных параметров щеточного отделителя корнеплодов от примесей / В.В. Карпов, В.Е.Зубков // Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛДАУ, 2000. - № 6/17. – С. 156 - 160.
95. Карпов В.В. Предварительное обоснование параметров щеточного отделителя – очистителя корнеклубнеплодов от примесей / В.В. Карпов, В.Е. Зубков // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь : ТДАТА, 2001. – Вип. 1. – Т. 23. – С. 35 – 39.

96. Карпов В.В. Программное решение компромиссной задачи при оптимизации параметров очистителя корнеплодов / В.В. Карпов // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛНАУ, 2014. - № 58. – С. 137 - 142.
97. Карпов В.В. Размерно – массовые характеристики корнеплодов кормовой свеклы в связи с обоснованием параметров щеточного очистителя – отделителя / В.В. Карпов // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ : ЛНАУ, 2004. - № 42 (52). – С. 157 - 160.
98. Карпов В.В. Розробка та удосконалення щіткових пристроїв для сухого очищення кормових корнеплодів / В.В. Карпов // Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». – Глеваха : ННЦ «ІМЕСГ», 2014. – Вип. 99. – Т.1. – С. 246 - 253.
99. Карпов В.В. Упругие свойства гофрированного ворса пильчатого профиля / В.В. Карпов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Барнаул :ФГБОУ ВПО «АГАУ», 2013.-№12(110).–С.87 - 90.
100. Карпов В.В. Форма рабочих элементов гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов / В.В. Карпов // Матеріали ІХ-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки, вип. 1 – Кіровоград : КНТУ, 2013. – С. 151 - 153.
101. Карпов В.В. Анализ взаимодействия рабочих органов гофрощеточных барабанов очистителя кормовых корнеплодов с объектами очистки / В.В. Карпов, В.А. Гулевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж : ВГАУ, 2017. - № 2. – С. 121 – 128.
102. Карпов В.В. Влияние загрязненности и влажности почвенных примесей на эффективность очистки кормовых корнеплодов / В.В. Карпов, В.А. Гулевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж : ВГАУ, 2017. - № 3. – С. 87 – 92.

103. Колчин Н.Н. Анализ работы транспортерно-щеточного отделителя примесей от клубней картофеля / Н.Н. Колчин, В.М. Фурлетов // Некоторые вопросы проектирования и расчета с.-х. машин : сб.научн.тр. ВИСХОМ. – М.: Изд-во ВИСХОМ, 1980. – Вып.99. – С. 38 – 46.
104. Колчин Н.Н. Машины и оборудование для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н.Н. Колчин // Тракторы и сельхозмашины. – 1991. – № 3. – С. 4 – 6.
105. Колчин Н.Н. Послеуборочная обработка картофеля в ГДР / Н.Н. Колчин, В.Г. Лукин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1977. – № 9. – С. 61 – 63.
106. Колчин Н.Н. Состояние и перспективы развития отделителей примесей для послеуборочной обработки картофеля и овощей / Н.Н. Колчин, В.М. Фурлетов, Д.А. Арсеньев. – М.: ЦНИИТЭИ, 1983. – 64с.
107. Кондратюк О.Г. Методика визначення ефективності сепарації коренеплодів цукрових буряків вдосконаленими очисниками / О.Г. Кондратюк // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ. – 1997. – Т.2. – С. 56 – 58.
108. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т.Корн. – М. : Наука, 1974. – 831с.
109. Коробицин А.А. Анализ и проектирование линий по переработке корнеплодов / А.А. Коробицин, З.А. Любовцева // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 1995. – № 6. – С. 26 – 27.
110. Короткин В.М. Исследование струйной очистки корнеплодов / В.М. Короткин // Техника в сельском хозяйстве. – 2002. – № 2. – С. 6 – 8.
111. Костин Г.Н. Информационные материалы, необходимые для расчетов по основным технологическим процессам и техническому обслуживанию на фермах: справочник / Г.Н Костин, П.М. Рошин, Е.В. Косолапов. – Киров: Вятская ГСХА, 2010. - 84 с.

112. Крючин Н.П. Оптимизация параметров штифтово-щеточного высевающего аппарата / Н.П. Крючин, С.В. Вдовкин // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 2. – С. 54 – 55.
113. Кузнецов П.Н. Теоретическое исследование контактного взаимодействия ворсины с витком пружины / П.Н. Кузнецов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск : Изд-во МГАУ, 2016. - №1. – С. 157.
114. Кузнецов П.Н. Эффективность использования свеклоуборочной техники с применением очистителя от влажной почвы, выполненного в виде щетки / П.Н. Кузнецов, Э.А. Климентова, А.А. Дубовицкий // Наука в центральной России. – 2016. – № 1 (19). – С. 59 – 66.
115. Лямин Д.Ю. Физико-механические свойства корнеклубнеплодов / Д.Ю. Лямин, В.В. Пусвашкис, Н.В. Хилков // Труды Латвийской сельскохозяйственной академии. – Елгава : ЛСХИ, 1989. – С.72 – 77.
116. Ма С.А. Сухое трение при наличии разрывов и больших упругих деформаций в одном из трущихся тел / С.А. Ма, Т.С. Скакун, Н.М. Флайшер // Сборник научных трудов ВИМ. – М.: Изд – во ВИМ, 1983. – Т. 98. – С. 29 – 49.
117. Мазур И.И. Инженерная экология. Общий курс: Т.1. Теоретические основы инженерной экологии / И.И. Мазур, О.И. Молдованов, В.Н. Шинков – М: Высшая школа, 1996. - 423с.
118. Макаров Е. Г. Mathcad: Учебный курс / Макаров Е. Г. – СПб.: Питер. – 2009. – 384 с.
119. Мартынов В.М. Энергетические показатели шнеково-вальцового очистителя корнеплодов / В.М. Мартынов, Г.П. Юхин, А.А. Катков, А.М. Калимуллин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург : Изд-во ОГАУ, 2014. – № 5 (49). – С. 80-83.
120. Максимов Б.И. Исследование процесса отделения клубней картофеля от камней и почвенных комков на отделителе транспортерно-щеточного типа /

- Б.И. Максимов, А.И. Кажеурова // Труды ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ. – 1972. – Т. 73. – С. 19 – 38.
121. Машиновикористання у тваринництві : лабораторний практикум. Навчальний посібник / [за ред. В.Т. Дмитріва]. – Львів : Магнолія Плюс, 2004. – 252 с.
122. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л. : Колос, 1980. – 166с.
123. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рациональных предложений. - М.: ВНИИПИ, 1983. - 149 с.
124. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники [Текст]. – М.: МСХ и ПРФ, ВНИИЭСХ, 1998. – 224 с.
125. Методические рекомендации по оценке экономической эффективности использования машин и оборудования в животноводстве. - Запорожье: ЦНИПТИМЭЖ, 1983. - 76 с.
126. Механизация и технология производства продукции животноводства / [В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Марусидзе, В.Ф. Некрашевич]. – М.: 1999. – С. 262 – 265.
127. Механизация приготовления кормов / [В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А.Х. Джалилов]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.
128. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / [Царенко О.М., Войтюк Д.Г., Швайко В.М. та ін.]; за ред. С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
129. Митков В.В. Применение метода планирования эксперимента в исследовании процесса очистки корнеплодов / В.В. Митков, В.Я. Черкун // Научно-технический бюллетень по механизации животноводства. – Запорожье, 1983. – Вып. 17. – С. 57 – 60.

130. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
131. Михайлов В.А. Результаты исследований рабочих органов для очистки и транспортирования корнеплодов / В.А. Михайлов, Г.А. Голованова, А.Н. Шевченко // Механизация и электрификация процессов в животноводстве : сб.науч.тр. ВНИПТИМЭСХ. – зерноград, 1989. – С. 108 – 115.
132. Михайлов В.А. Результаты лабораторно – хозяйственных испытаний очистителя-измельчителя корнеплодов / В.А. Михайлов, Г.А. Голованова // Механизация и электрификация процессов в животноводстве : сб.научн.тр. ВНИПТИМЭСХ. – зерноград, 1991. – С. 115 – 121.
133. Мишин М.А. Определение мощности очистителей головок корней ботвоуборочных машин / М.А. Мишин // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. – №8. – С. 19 – 20.
134. Мишин М.А. Расчет очистителей головок корней сахарной свеклы / М.А. Мишин, В.А. Грозубинский // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1984. – № 11. – С. 28 – 30.
135. Мишин М.А. Результаты экспериментальных исследований очистителей головок корней сахарной свеклы от остатков ботвы / М.А. Мишин // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – № 1. – С. 21 – 22.
136. Многофакторный эксперимент. Методические указания по проведению и обработке результатов / Шаповалов В.И., Вольвак С.Ф., Пермигин М.Ф., Евсюков В.А. - Луганск: ЛГАУ, 1999. - 38 с.
137. Морозов Н.М. Экономическая эффективность комплексной механизации животноводства / Н.М. Морозов. – М. : Россельхозиздат, 1986. – 224 с.
138. Муханов А.А. Машина для очистки картофеля от земли / А.А. Муханов, Н.А. Муханов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1990. – № 2. – С. 25.
139. Нагірний Ю.П. Аналіз технологічних систем і обґрунтування рішень / Ю.П. Нагірний, І.М. Бендера, С.Ф. Вольвак та ін. – Кам'янець – Подільський: ФОП Сисин О.В., 2013. – 240 с.

140. Нагорный А.Г. Щеточные очистители корней / А.Г. Нагорный, В.В. Лях, В.Г. Герасимчук // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1977. – № 9. – С. 12 – 14.
141. Найданов С.А. Исследование процесса сухой очистки корней сахарной свеклы / С.А. Найданов, В.А. Пучков // Сборник научных трудов ВИМ. – М.: Изд – во ВИМ, 1983. – Т. 98. – С. 8 – 29.
142. Найданов С.А. Силовое взаимодействие щеток с корнями сахарной свеклы / С.А. Найданов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1981. – № 11. – С. 11 – 13.
143. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
144. Неретин А.С. Исследование процесса очистки корнеплодов от загрязнений с целью изыскания путей повышения производительности моечных машин / А.С. Неретин // Механизация подготовки кормов в животноводстве : сб. науч. тр. – Воронеж : ВСХИ, 1987. – С. 62 – 73.
145. Николаев Д.И. К обоснованию устройства для сухой очистки корнеплодов / Д.И. Николаев, Д.Ю. Лямин // Труды Латвийской сельскохозяйственной академии. – Елгава : ЛСХИ, 1989. – С.68 – 72.
146. Общие принципы испытания сельскохозяйственных машин. Теория, конструкция и производство с.-х. машин / В.П. Горячкин. – М. : Сельхозгиз, 1936. – Т.2. – 286 с.
147. Огуречников Н.А. Изыскание, исследование и обоснование технологического процесса и рабочих органов для очистки головок корней сахарной свеклы: автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 “Механизация сельскохозяйственного производства”. / Огуречников Николай Александрович. – Минск, 1977. – 15с.
148. Пат. 10482 Україна, А01D33/08. Конічний очисник коренебульбоплодів / Карпов В.В., Бойко А.І.; заявник і власник Луганський національний аграрний університет. – № и 200504226 ; заявл. 04.05.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. № 11.

149. Пат. 10488 Україна, А01D33/08. Відцентровий фрикційний очисник – відокремлювач коренебульбоплодів від домішок / Карпов В.В.; заявник і власник Луганський національний аграрний університет. – № u 200504247 ; заявл. 04.05.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. № 11.
150. Пат. 33962А Україна, А01D33/08. Щітковий очисник коренеплодів / Карпов В.В., Зубков В.Є.; заявник і власник Луганський державний аграрний університет. - № 99052526 ; заявл. 05.05.99 ; опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.
151. Пат. 76128 Україна, МПК А01D33/08(2006.01). Гофрощітковий очисник коренебульбоплодів / Карпов В.В.; заявник і власник ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». – № u 201206787 ; заявл. 05.06.12 ; опубл. 25.12.12, Бюл. № 24.
152. Петрикович Ю.Я. Сепаруюча здатність систем доочистки коренеплодів буряка і ефективність їх застосування в бурякозбиральних комплексах / Ю.Я. Петрикович // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ. – 1997. – Т.2. – С. 46 – 47.
153. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины / Г.Д. Петров. – М. : Машиностроение, 1984. – 399 с.
154. Петров Г.Д. Некоторые условия соударения клубня с поверхностью рабочего органа / Г.Д. Петров, Л.И. Манпиль // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1985. – № 11. – С. 22 – 24.
155. Пиктурна Г.А. КОРК – 15 работает лучше / Г.А. Пиктурна // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – № 12. – С.14 – 15.
156. Погорілий М. Перспективна бурякозбиральна техніка і шляхи її розвитку / М. Погорілий // Науково-технічний журнал. – 1998. – № 4. – С. 21 – 23.
157. Поливаев О.И. Испытание сельскохозяйственной техники в энергосиловых установках: учебное пособие / О.И. Поливаев, О.М. Костиков; под общ. ред. О.И. Поливаева. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 291 с.

158. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней / Е.П. Попов. – М. : Наука, 1986. – 295с.
159. Пороховский П.И. Зависимость качества очистки корнеплодов от скоростного режима очистителя / П.И. Пороховский, Л.И. Слав, Ю.И. Кузьмин // Сб. научн. тр. ЧИМЭСХ. – 1987. – Вып.101. – С.53 – 61.
160. Поршнева С.В. Численные методы на базе Mathcad / С.В.Поршнева, И.В.Беленкова – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 464 с.
161. Приекулис Ю.К. Сравнение технологических линий подготовки корнеклубнеплодов для скормливания животным / Ю.К. Приекулис // Труды Латвийской сельскохозяйственной академии. – Елгава : ЛСХИ, 1991. – С.52 – 58.
162. Производство кормовой свеклы по интенсивной технологии / [Сост. М.Н. Марченко]. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 191с.
163. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.І. Ребенко. – К : Кондор, 2009. – С.23 – 40.
164. Ревенко І.І. Машини та обладнання для тваринництва : посібник – практикум / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, О.О. Заболотько [та ін.]. – К : Кондор, 2012. – С.142 – 150.
165. Роганова Т.И. Повышение эффективности отделителей некондиционного картофеля / Т.И. Роганова // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1985. – № 11. – С. 19 – 22.
166. Сероватов В.А. Обоснование параметров и режимов работы щеточных очистителей / В.А. Сероватов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1981. – № 11. – С. 13 – 16.
167. Сероватов В.А. Отделение картофеля от примесей в вакуумно-механическом устройстве / В.А. Сероватов // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – № 7. – С. 27 – 29.
168. Синявский З.Н. Машины и оборудование для обработки корнеклубнеплодов / З.Н. Синявский. – М.: Машиностроение, 1964.- С.4 – 7.

169. Сиротюк В.М. Машины та обладнання для тваринництва : навчальний посібник / В.М. Сиротюк. – Львів : Магнолія плюс, 2004. – 200 с.
170. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування: ДСТУ 4397:2005. – [Чинний від 2006-01-01]. –К. : Держспоживстандарт, 2005. – 20 с.
171. Соловьев С.В. Совершенствование степени очистки корнеплодов сахарной свеклы путём применения щёточного очистителя в условиях Тамбовской области / С.В. Соловьев, П.Н. Кузнецов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск : Изд-во МГАУ, 2015. – № 1. – С. 162 – 167.
172. Сорокин А.А. Обоснование и расчет величин зазоров сепарирующих и сортирующих органов машин для уборки и сортирования картофеля / А.А. Сорокин // Некоторые вопросы проектирования и расчета с.-х. машин : сб.научн.тр. ВИСХОМ. – М. : Изд-во ВИСХОМ, 1956. – С. 38 – 46.
173. Спиридонов А.А.. Планирование эксперимента при исследовании и оптимизации технологических процессов / Спиридонов А.А., Васильев Н. Г – Свердловск, 1975. – 140 с.
174. Степанов Д.В. Практические занятия по животноводству / Д.В. Степанов. – М. : Мир, 2004. – С.99 – 125.
175. Сыроватка В.И. Методика расчета рабочих органов и выбора основных параметров барабанно-щеточных очистителей корнеплодов / В.И. Сыроватка, А.В. Дервиш // Сб.научн.тр. ВИЭСХ. – М. : ВИСХОМ – 1973. – Т.34. – С. 130 – 162.
176. Сыроватка В.И. Энергетические и геометрические параметры барабанно-щеточного очистителя корнеплодов / В.И. Сыроватка, А.В. Дервиш // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1972. – № 9. – С. 42 – 45.
177. Сбор и урожайность основных сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий на 1 октября 2016г. [Электронный ресурс]. –

- Режим доступа: <http://internet.bezformata.ru/listnews/selskohozyajstvennih-kultur/51324238/html>. (Дата обращения 23.05.17).
178. Тарасенко В.В. Совершенствование щеточно-сепарирующего устройства для томатоуборочных машин / В.В Тарасенко, А.С. Гончаров // Тракторы и сельхозмашины. – 1991. – № 6. – С. 36 – 37.
179. Татьянако Н.В. Обоснование принципа действия очистителей головок корней свеклоуборочных машин / Н.В. Татьянако, В.А. Грозубинский, М.А. Мишин // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – № 7. – С. 43 – 45.
180. Тваринництво / [укл. М.П. Умельцев]. – Харків : Книжковий клуб, 2010. – 320 с.
181. Техническое обеспечение в животноводстве : учебник / [В.К. Гриб, Л.С. Герасимович, С.С. Жук]. – Мн. : Бел. навука, 2004. – С. 190 – 208.
182. Труфанов В.В. Совершенствование процесса работы дробилки с гибкими рабочими органами / В.В. Труфанов, Р.А. Дружинин, А.М. Золотарев // Вестник Воронежского гос. аграр. ун-та. - 2016. – Вып. 4(51). – С. 106 – 113.
183. Фурлетов В.М. Транспортно-щеточные отделители клубней картофеля от примесей / В.М. Фурлетов // Тракторы и сельхозмашины. – 1984. – № 1. – С. 19 – 21.
184. Халафян А.А. Статистический анализ данных : учебник / А.А. Халафян. – М. : ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.
185. Хвостов В.А. Обоснование параметров рабочих органов для отделения корнеплодов от примесей / В.А. Хвостов // Тракторы и сельхозмашины. – 1981. – № 7. – С. 21 – 24.
186. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин / М.М. Хелемендик. – К.: Аграрна наука, 2001. – 280с.
187. Хелемендик Н.М. Семейство усовершенствованных очистителей головок корнеплодов / Н.М. Хелемендик, В.М. Булгаков, В.А. Мартыненко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 6. – С. 13 – 15.

188. Шабельник Б.П. Разработка технологического процесса очистки корнеплодов и создание конвейеров-очистителей свеклоуборочных машин: автореф. дисс. на соискание научн. степени докт. техн. наук : спец. 05.20.01 “Механизация сельскохозяйственного производства”. / Шабельник Борис Петрович. – Ростов-на-Дону, 1986. – 44с.
189. Шапров М.Н. Определение динамических параметров щеточного барабана машины для удаления коры с плодов тыквы / М.Н. Шапров // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 1. – С. 35 – 37.
190. Шуханов С.Н. Обзор исследований процесса измельчения корнеклубнеплодов / С.Н. Шуханов, В.Д. Коваливнич, А.С. Доржиев, А.И. Мартыненко // Аграрная наука. – 2017. – № 2. – С. 29-30.
191. Шуханов С.Н. Совершенствование технических средств для измельчения корнеплодов / С.Н. Шуханов, А.В. Кузьмин, Е.В. Сосоров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург : Изд-во ОГАУ, 2016. – № 3 (59). – С. 93–95.
192. Юхин Г.П. Механизированная заготовка и подготовка к скармливанию кормовой свёклы / Г.П. Юхин, В.М. Мартынов, П.И. Огородников, В.А. Милюткин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург : Изд-во ОГАУ, 2016. – № 6. – С. 98–100.
193. Яблонский А.А. Курс теоретической механики / А.А. Яблонский, Н.М. Никифорова. – СПб.: Издательство «Лань», 2001. – 768 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



ТРОЇЦЬКА РАЙОННА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛАСТІ
УПРАВЛІННЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО РОЗВИТКУ
просп. Перемоги, 60, смт. Троїцьке Луганська обл., 92100, Україна,
тел. (06456) 2-19-67, факс (06456) 2-11-33,
E-mail: uapr_tr@ukr.net

13.05.2013 № 1/1486

СПРАВКА

Выдана управлением агропромышленного развития Троицкой РГА Луганской области учебному мастеру кафедры технологий производства и профессионального образования ГУ «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко» Карпову В.В. в том, что рекомендации по использованию разработанного им гофрощеточного очистителя для сухой (безводной) очистки и отделения кормовых корнеклубнеплодов от примесей (патент Украины № 76128) приняты к рассмотрению и рекомендованы для внедрения в фермерские хозяйства Троицкого района.

Заместитель начальника
Управления агропромышленного развития
Троицкой РГА



А.М.Потеряхин

УТВЕРЖДАЮ

Директор КФХ «Л.Е.Н.А»

Троицкого района Луганской области

В.А.Кучеренко

«29» июля 2013г.

АКТ

**внедрения рекомендаций по использованию гофрощёточного очистителя
кормовых корнеклубнеплодов**

Комиссия в составе представителя КФХ «Л.Е.Н.А» главного инженера Орничева В.В. и представителей ГУ «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко» докт. техн.наук, профессора кафедры технологий производства и профессионального образования Зубкова В.Е. и инженера Карпова В.В. составили настоящий акт о том, что представители Луганского национального университета имени Т. Шевченко передали представителям КФХ «Л.Е.Н.А» рекомендации по использованию разработанного инженером В.В. Карповым гофрощёточного очистителя для сухой (безводной) очистки кормовых корнеплодов.

Разработанный в Луганском национальном университете имени Т. Шевченко гофрощёточный очиститель корнеплодов (патент Украины № 76128) , в котором реализован принцип сухой поверхностной очистки кормовых корнеклубнеплодов без использования воды, может использоваться в разнообразных технологических схемах послеуборочной обработки корнеплодов :

– как в отдельном исполнении в фермерских хозяйствах на животноводческих фермах, так и в составе линий обработки корнеклубнеплодов в кормоцехах типа КОРК – 15 и КЦС – 5;

– в стационарных хранилищах для сухой очистки корнеплодов перед закладкой их на хранение или в момент их выемки из хранилища перед погрузкой в транспортные средства и отправки корнеплодов на ферму или в кормоцех;

– на мобильных свеклопогрузчиках - очистителях типа СПС – 4,2 А, ПНБВ – 1,6, АЗС – 6 – 03 на поле после уборки корнеплодов, для подбирания их из валков и кагатов шириной до 4 м и высотой до 2 м, доочистки их от земли, остатков ботвы и других растительных примесей, а также погрузки корнеплодов в транспортные средства.

Разработанные рекомендации по использованию гофрощеточного очистителя для сухой очистки корнеклубнеплодов подтверждают возможности его применения в фермерских хозяйствах и коллективных сельскохозяйственных предприятиях любых размеров и форм собственности.

Данные разработки могут быть полезны проектно – конструкторским и научно – исследовательским организациям, занимающимся разработкой подобного типа очистителей – отделителей кормовых корнеплодов.

Председатель комиссии

Члены комиссии :



В.А. Кучеренко

В.В. Ориничев

В.Е. Зубков

В.В. Карпов



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
«ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ТАРАСА ШЕВЧЕНКА»

вул. Оборонна, 2, м. Луганськ, 91011.
Тел./факс: 59-90-08;
тел.: 58-45-41; e-mail: mail@luguniv.edu.ua

17.04.2013 № 1/1947
на № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи «Підвищення ефективності післязбиральної доробки коренебульбоплодів» здобувача наукового ступеню кандидата технічних наук Карпова Владислава Вікторовича в навчальний процес Старобільського факультету ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка».

Дана довідка видана Карпову В.В. в тому, що викладені ним результати досліджень, а саме : теоретичні та експериментальні залежності впливу конструктивно – режимних і технологічних параметрів гофроціткового очисника кормових коренебульбоплодів на показники технологічного процесу сухого очищення без використання води та створена конструкція гофроціткового очисника дійсно використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін «Нові технології та матеріали в сільськогосподарському виробництві», «Машиновикористання в сільському господарстві» та «Сучасне фермерське господарство».

Проректор з науково-педагогічної
роботи

О.М.Клімочкіна

СОГЛАШЕНИЕ
о сотрудничестве между ООО „Луганский Институт
международного сотрудничества” и Пекинским Восточным Международным
Культурным Обменным Центром „Кайвен”

г. Луганск

“ ” _____ г.

ООО „Луганский Институт международного сотрудничества” (свидетельство о государственной регистрации Серия А00 № 714236 от 03.07.2002 г.), в лице директора Зубковой Нины Романовны, далее „Институт”, действующего на основании Устава „Института”, с одной стороны, и Пекинский Восточный Международный Культурный Обменный Центр „Кайвен”, в лице Президента Кевина Лю, далее „Центр”, действующего на основании Устава „Центра”, с другой стороны, договорились о следующем:

1. ЦЕЛЬ ДОГОВОРА

1.1. Разработка и реализация образовательных, научных и культурных программ и проектов между Украиной и КНР.

2. ОБЯЗАТЕЛЬСТВА „ИНСТИТУТА”

- 2.1. Подобрать университеты-партнеры с Украины для создания и реализации совместных образовательных программ и проектов с Китаем;
- 2.2. Подготовить проекты соглашений о сотрудничестве между китайскими и украинскими ВУЗами;
- 2.3. Организовать обучение китайских граждан русскому языку в КНР по программе Подготовительного отделения Украины;
- 2.4. Подобрать из числа украинских студентов преподавателей русского языка для работы в КНР.

3. ОБЯЗАТЕЛЬСТВА „ЦЕНТРА”

- 3.1. Подобрать пять китайских ВУЗов-партнеров для организации сотрудничества с украинскими университетами;
- 3.2. Набрать граждан КНР в количестве двухсот человек, имеющих дипломы младшего специалиста, для обучения в украинских университетах до уровня Бакалавра и Магистра;
- 3.3. Создать условия для работы курсов Русского языка по программе Подготовительного отделения Украины.

4. ДРУГИЕ УСЛОВИЯ СОГЛАШЕНИЯ

4.1. Стороны считают, что сотрудничество в рамках данного Соглашения распространяется только на „Институт” и „Центр”;

5. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТОРОН И РЕШЕНИЕ СПОРНЫХ ВОПРОСОВ

5.1. Стороны несут ответственность в случае неисполнения принятых обязательств в соответствии с действующим законодательством Украины и КНР;

5.2. В случае возникновения споров и разногласий Стороны сделают все возможное, чтобы решить их путем переговоров. В случае если они не смогут договориться, то этот спор или разногласие будут рассматриваться в судебном порядке;

5.3. Стороны по взаимной договоренности имеют право вносить изменения и дополнения в данное Соглашение. Эти изменения и дополнения будут иметь силу только в том случае, если они выполнены в письменном виде и подписаны обеими Сторонами;

5.4. Стороны не имеют права передавать другой Стороне свои права и обязанности по данному Соглашению.

6. ФОРС-МАЖОРНЫЕ ОБСТОЯТЕЛЬСТВА

6.1. Ни одна из Сторон не несет ответственности перед другой Стороной за задержку или невыполнение обязательств по данному Соглашению, обусловленных обстоятельствами, возникшими помимо воли и желания Сторон и которые нельзя предвидеть или избежать, включая объявленную или фактическую войну, гражданские волнения, эпидемии, блокаду, эмбарго, землетрясения, наводнения, пожары и другие стихийные бедствия;

6.2. Сторона, которая не исполняет своего обязательства, должна предоставить извещение другой Стороне о препятствии и его влиянии на исполнение обязательств по данному Соглашению.

7. СРОК ДЕЙСТВИЯ СОГЛАШЕНИЯ

7.1. Данное Соглашение действует с момента его подписания обеими Сторонами в течение 5 (пяти) лет с правом его автоматического продления по взаимному согласию Сторон;

7.2. Действие Соглашения может быть прекращено на основании письменного обращения одной из Сторон за 6 (шесть) месяцев до срока окончания действия Соглашения.

7.3. Данное Соглашение составлено и подписано в двух оригинальных экземплярах на русском языке. Все экземпляры идентичны и имеют одинаковую юридическую силу.

8.ЮРИДИЧЕСКИЕ АДРЕСА СТОРОН

ЦЕНТР	ИНСТИТУТ
Пекинский Восточный Международный Культурный Обменный Центр „Кайвен”	ООО „Луганский институт международного сотрудничества”
Адрес: Zhongguancun, South Avenue, Wei Bo Hao Shi Dai Center, Czuo 705, P С: 100081	Адрес: 91008, Украина, г. Луганск, ул. Центральная, 15/16
моб.тел.: 0086-13901185601 e-mail: kwking@163.com	тел.: +38(0642) 97-72-92 факс: +38(0642) 71-90-03 моб.тел.: +38(095)38-19-002 e-mail: zubkov-viktor@mail.ru web-site: www.interedulims.com/
Подпись:	Подпись:
 Директор Кевин Лю	 Директор Н.Р. Зубкова

_____ 2011 г.

_____ 2011 г.

ИНФОРМАЦИЯ

о внедрении рекомендаций по использованию гофрощёточного очистителя кормовых корнеплодов

Пекинский Восточный Международный
Культурный Обменный Центр
“Кайвен”
Адрес: Zhongguancun, South Avenue,
Wei Bo Hao Shi Dai Center, Cзuo 705,
P C: 100081

В рамках соглашения о творческом сотрудничестве полученные инженером Карповым В.В. результаты научных исследований используются для создания опытного образца гофрощёточного очистителя кормовых корнеплодов, с целью его дальнейшей производственной проверки и опробования в условиях сельского хозяйства КНР.

Переданные рекомендации по использованию гофрощёточного очистителя для сухой очистки корнеклубнеплодов подтверждают возможности его применения в коллективных сельскохозяйственных предприятиях КНР любых размеров и форм собственности.

Директор

Кевин Лю

“ 10 ” 09 2013 г.



(11) **76128**

(19) **UA**

(51) МПК
A01D 33/08 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2012 06787**

(22) Дата подання заявки: **05.06.2012**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.12.2012**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.12.2012, Бюл. № 24**

(72) Винахідники:
**Карпов Владислав
Вікторович, UA,
Зубков Віктор Єгорович, UA**

**ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД
"ЛУГАНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА",
вул. Оборонна, 2, м. Луганськ,
91011, UA**

(54) Назва корисної моделі:

ГОФРОЦІТКОВИЙ ОЧИСНИК КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ

(57) Формула корисної моделі:

Гофrocітковий очисник коренебульбоплодів, який включає нерухому і рухому рами, завантажувальний бункер, два центральних та два бокових гофrocіткових барабани, три регулюючі спрямовуючі заслінки, регулюючі механізми підйому-опускання бокових гофrocіткових барабанів та нахилу рухомої рами до обр'ю, нижній стрічковий вивантажувальний транспортер домішок, вивантажувальний лоток коренебульбоплодів, механізм приводу гофrocіткових барабанів, встановлені на валах гофrocіткових барабанів робочі елементи, який відрізняється тим, що робочі елементи виконані еластичними у вигляді гофрованих смужок криволінійної форми "пильчастого" профілю та дисків із еліптичними стовщеннями, прогумовані спрямовуючі заслінки виконані регульованими, які разом із гофrocітковими барабанами утворюють робочу камеру перемінного перерізу з можливістю її нахилу до обр'ю й звуження чи розширення її на вході або виході коренебульбоплодів із неї.



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **76128** (13) **U**
(51) МПК
A01D 33/08 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

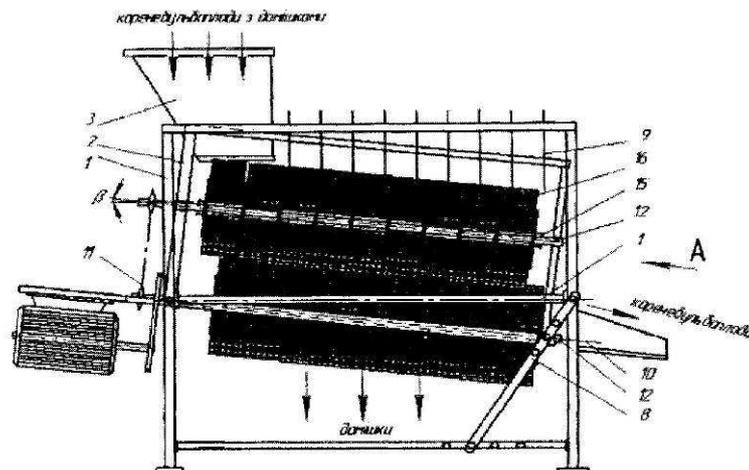
(21) Номер заявки: **u 2012 06787**
(22) Дата подання заявки: **05.06.2012**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:
25.12.2012
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **25.12.2012, Бюл.№ 24**

(72) Винахідник(и):
**Карпов Владислав Вікторович (UA),
Зубков Віктор Єгорович (UA)**
(73) Власник(и):
**ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД "ЛУГАНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ТАРАСА ШЕВЧЕНКА",
вул. Оборонна, 2, м. Луганськ, 91011 (UA)**

(54) ГОФРОЦІТКОВИЙ ОЧИСНИК КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ

(57) Реферат:

Гофроцїтковий очисник коренебульбоплодів включає нерухому і рухому рами, завантажувальний бункер, два центральних та два бокових гофроцїткових барабани, три регулюючих спрямовуючих заслінки, нижній стрічковий вивантажувальний транспортер домішок, вивантажувальний лоток коренебульбоплодів, механізм приводу гофроцїткових барабанів, встановлені на валах гофроцїткових барабанів робочі елементи. Робочі елементи виконані еластичними у вигляді гофрованих смужок криволінійної форми "пильчастого" профілю та дисків із еліптичними стовщеннями. Прогумовані спрямовуючі заслінки виконані регульованими, які разом із гофроцїтковими барабанами утворюють робочу камеру перемінного перерізу з можливістю її нахилу до обрію й звууження чи розширення її на вході або виході коренебульбоплодів із неї.



Фіг. 1

UA 76128 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, зокрема до пристроїв для сухого очищення коренебульбоплодів від налиплиго ґрунту і відокремлення каміння та вільних домішок, які можуть використовуватися в технологічних лініях підготовки коренебульбоплодів до згодування в кормоприготувальних цехах та фермах або в стаціонарних сховищах при підготовці коренебульбоплодів до тривалого зберігання.

Відомий щітковий очисник коренебульбоплодів (а. с. № 1625400, бюл. № 5 від 07.02.1991), який містить два ряди щіток та струнну решітку, причому верхній ряд щіток виконаний у формі колінчастого вала, що дозволяє постійно змінювати висоту робочої зони очищення. Колінчасті щітки розміщені перпендикулярно напрямленню руху коренебульбоплодів та мають щіткові елементи круглястої форми із гладкою поверхнею. Недоліком відомого очисника є травмування коренебульбоплодів великої фракції та недостатнє очищення коренебульбоплодів від налиплиго ґрунту гладкими щітковими елементами колінчастих щіток.

Відомий відцентровий фрикційний очисник-відокремлювач коренебульбоплодів від домішок (деклараційний патент на корисну модель № 10488 від 15.11.2005) з аналогічним принципом роботи. Він складається з чотирьох відцентрово-фрикційних циліндричних барабанів і спрямовуючого щітка посередині робочої зони, причому периферійні барабани встановлені з можливістю їх підйому - опускання для утворення в поперечному перерізі жолобу. Основою відцентрово-фрикційних барабанів є набір нитковидних гірлянд, кожна з яких складається із сукупності очисних дисків, встановлених з певним кроком по довжині кожної гірлянди. Основним недоліком відомої конструкції відцентрового фрикційного очисника - відокремлювача коренебульбоплодів від домішок є те, що внаслідок збільшення кутових швидкостей обертання відцентрових барабанів очисні диски гірлянд завдають коренебульбоплодам поверхневі пошкодження та травмують їх. Крім того, в процесі активного динамічного контакту робочих елементів із коренебульбоплодами, диски можуть відриватися від гнучкої основи гірлянд, що приводить до зниження технологічної надійності робочих органів очисника та якості очищення вроху коренебульбоплодів в цілому.

В основу запропонованої корисної моделі поставлено задачу підвищення якості очищення коренебульбоплодів від налиплиго ґрунту і вільних домішок та збільшення технологічної надійності робочих органів очисника.

Поставлена задача вирішується шляхом удосконалення конструкції елементів робочих органів гофрощіткового очисника коренебульбоплодів. Основні робочі органи гофрощіткового очисника коренебульбоплодів складаються з двох центральних гофрощіткових циліндричних барабанів і регулюючої заслінки проміж ними, двох бокових гофрощіткових циліндричних барабанів та двох регулюючих заслінок, розташованих симетрично відносно вертикальної осі симетрії. Гофрощіткові барабани встановлені на рухомій рамі попарно із спрямовуючими регулюючими заслінками із можливістю підйому - опускання бокових гофрощіткових барабанів і регулюючих заслінок та зміни відстані між ними. Гофрощіткові барабани разом із спрямовуючими регулюючими заслінками утворюють робочу камеру перемінного перерізу вздовж направлення руху коренебульбоплодів.

Основу конструкції гофрощіткових барабанів складають встановлені на валах еластичні диски із додатковими еліптичними стовщеннями та сукупність гофрованих смужок криволінійної форми "пильчастого" профілю, які фіксуються між еластичними дисками на валу за допомогою підвісної системи. Для відведення домішок із робочої камери в конструкції гофрощіткового очисника коренебульбоплодів передбачений також нижній стрічковий вивантажувальний транспортер.

На фіг. 1 схематично зображений вид збоку гофрощіткового очисника коренебульбоплодів, на фіг. 2 зображений переріз А-А. На фіг. 1, 2 умовно не показано нижній стрічковий вивантажувальний транспортер.

Гофрощітковий очисник коренебульбоплодів (див. фіг. 1, 2) складається із нерухомої 1 і рухомої 2 рами, завантажувального бункера 3. На рухомій рамі симетрично встановлені два центральних 4 і два бокових 5 гофрощіткових барабани та три регулюючих спрямовуючих заслінки 6 між ними, причому бокові гофрощіткові барабани за допомогою регулюючого механізму підйому - опускання 7 здатні змінювати своє положення відносно центральних гофрощіткових барабанів, а конструкція спрямовуючих заслінок дозволяє регулювати відстань між ними. До конструкції гофрощіткового очисника коренебульбоплодів також входить регулюючий механізм 8 нахилу рухомої рами, пруткові відбійники 9, вивантажувальний лоток коренебульбоплодів 10, механізм приводу 11 гофрощіткових барабанів. На вали 12 гофрощіткових барабанів на визначеній відстані насаджені еластичні диски 13 із додатковими еліптичними стовщеннями 14 на них, причому диски можуть бути розміщені на валах перпендикулярно їх продольної осі або під певним кутом до неї. В просторах між дисками на

валах за допомогою підвісної системи 15 шарнірно закріпленій набір прямокутних або трапецієдальних гофрованих смужок 16 криволінійної форми "пильчастого" профілю.

5 Гофроцітковий очисник коренебульбоплодів працює таким чином. На початку роботи, враховуючи ступінь початкової засміченості вороху коренебульбоплодів, потрібну пропускну здатність та відмінності у розмірно-масових характеристиках коренебульбоплодів і домішок, за допомогою регулюючого механізму підйому-опускання 7 гофроціткових барабанів 4, 5 встановлюють потрібний переріз робочої камери очисника на її вході і виході, за допомогою механізму нахилу 8 рухомої рами встановлюють визначений кут нахилу β робочої камери очисника до обр'ю. Регулюванням спрямовуючих заслінок 6 встановлюють необхідний зазор проміж гофроцітковими барабанами.

10 Ворох коренебульбоплодів, що подається на очищення, через завантажувальний бункер 3 потрапляє в робочу камеру перемінного перерізу на похилі гофроціткові барабани з дисками 13, що обертаються. Всередині робочої камери, зустрічаючись з барабанами, що обертаються із визначеною частотою й напрямленням, коренебульбоплоди змінюють напрямлення свого оберту і починають скоювати циклічний рух: спочатку переміщуються по поверхням центральних (нижніх) гофроціткових барабанів, далі підхоплюються боковими (верхніми) гофроцітковими барабанами й підіймаються ними на певну висоту до пруткових відбійників, а потім скочуються вниз, інтенсивно перетираючись між собою. Диски з еліптичними стовщеннями 14 створюють додатковий динамічний вплив на коренебульбоплоди, переміщуючи їх в радіальному напрямку. За рахунок динамічного впливу дисків зі стовщеннями й тертя коренебульбоплодів між собою, а також о гофровані смужки 16 криволінійної форми, диски 14 та спрямовуючі заслінки 6, забезпечується активний динамічний контакт коренебульбоплодів з гофроцітковими барабанами, завдяки чому налиплий на коренебульбоплодах ґрунт стає вільним і, разом з іншими домішками, просіюється в зазори проміж гофроцітковими барабанами. Звуження робочої камери на виході коренебульбоплодів пригальмовує швидкість просування коренебульбоплодів, що збільшує ступінь підтискання гофрованих смужок до поверхонь, що очищуються, створюючи кращі умови для ефективного очищення різних за формою, розмірами та ступеня забрудненості коренебульбоплодів. Далі очищені коренебульбоплоди скочуються по вивантажувальному лотку, а відокремлений ґрунт, камені та рослинні рештки просіюються вниз і потрапляють на нижній вивантажувальний транспортер домішок.

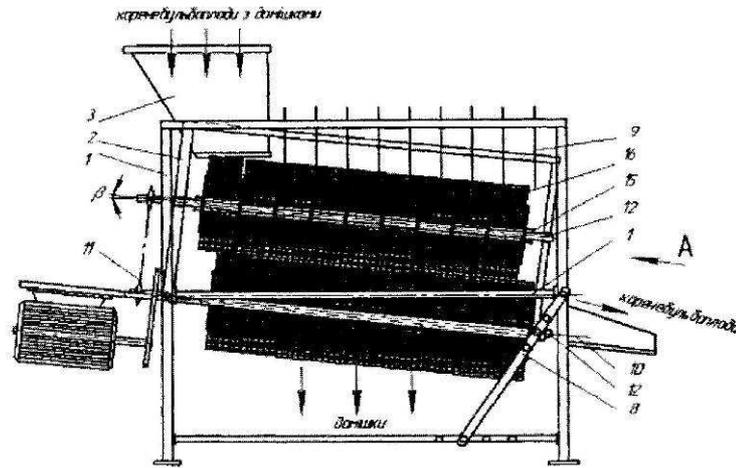
30 Таким чином, за рахунок звуження робочої камери перемінного перерізу на виході коренебульбоплодів із неї, відповідного налаштування частоти і напрямку обертів та кутів нахилу гофроціткових барабанів із дисками до обр'ю забезпечується складний циклічний рух коренебульбоплодів всередині робочої камери, в результаті чого відбувається інтенсивне очищення їх поверхонь від налиплого ґрунту та відділення вільних домішок, що приводить до підвищення якості очищення коренебульбоплодів. За рахунок використання в конструкції гофроціткового очисника коренебульбоплодів як робочих органів трьох регулюючих заслінок та чотирьох гофроціткових барабанів, основу яких складають еластичні диски з додатковими еліптичними стовщеннями та набори гофрованих смужок криволінійної форми "пильчастого" профілю з шарнірним кріпленням до валів гофроціткових барабанів, збільшується технологічна надійність робочих органів гофроціткового очисника коренебульбоплодів.

45 Застосування гофроціткового очисника коренебульбоплодів в технологічних лініях підготовки коренебульбоплодів до згодування на фермах або в кормоприготувальних цехах, в технологічних лініях підготовки коренебульбоплодів до тривалого зберігання в стаціонарних сховищах дозволяє збільшити технологічну надійність очисників щіткового типу та підвищити якість очищення коренебульбоплодів від налиплого ґрунту та вільних домішок.

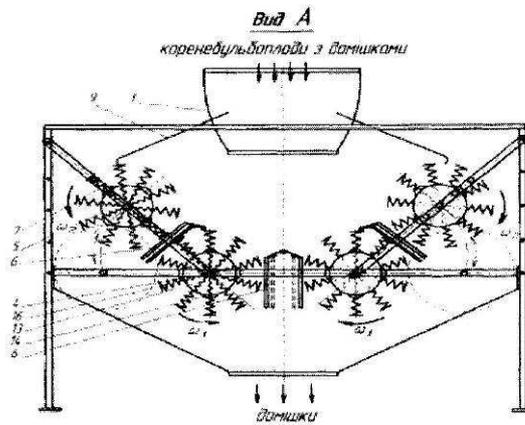
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

50 Гофроцітковий очисник коренебульбоплодів, який включає нерухому і рухому рами, завантажувальний бункер, два центральних та два бокових гофроціткових барабани, три регулюючі спрямовуючі заслінки, регулюючі механізми підйому-опускання бокових гофроціткових барабанів та нахилу рухомої рами до обр'ю, нижній стрічковий вивантажувальний транспортер домішок, вивантажувальний лоток коренебульбоплодів, механізм приводу гофроціткових барабанів, встановлені на валах гофроціткових барабанів робочі елементи, який відрізняється тим, що робочі елементи виконані еластичними у вигляді гофрованих смужок криволінійної форми "пильчастого" профілю та дисків із еліптичними стовщеннями, прогумовані спрямовуючі заслінки виконані регульованими, які разом із

гофроїтковими барабанами утворюють робочу камеру перемінного перерізу з можливістю її нахилу до обрію й звуження чи розширення її на вході або виході коренебульбоплодів із неї.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА
(19) (UA)

(11) 10488
(51) 7 A01D33/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на корисну модель

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

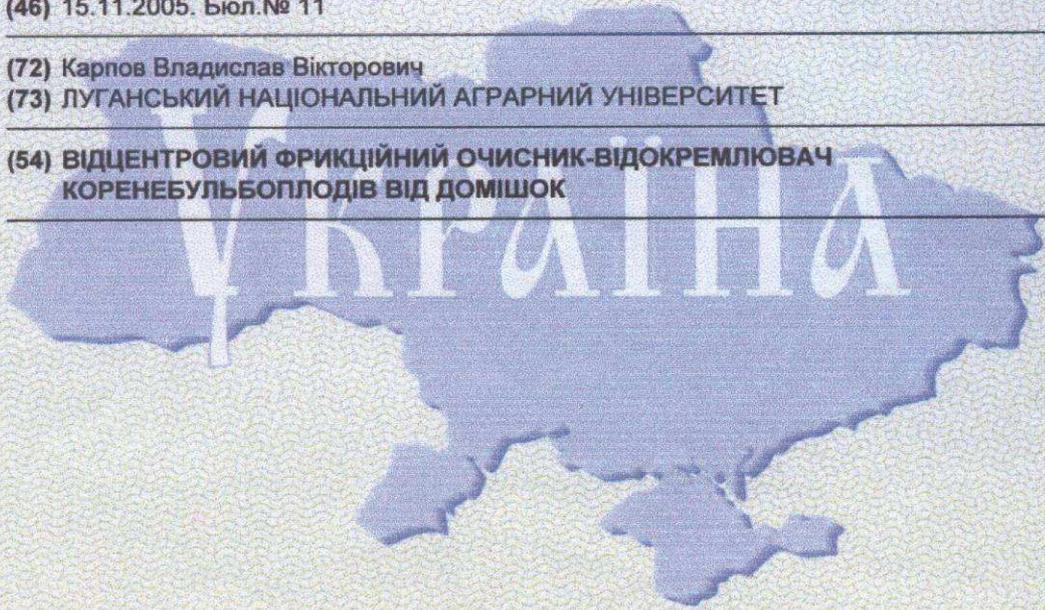
М. Паладій



(21) u 2005 04247
(22) 04.05.2005
(24) 15.11.2005
(46) 15.11.2005. Бюл. № 11

(72) Карпов Владислав Вікторович
(73) ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(54) ВІДЦЕНТРОВИЙ ФРИКЦІЙНИЙ ОЧИСНИК-ВІДОКРЕМЛЮВАЧ
КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ ВІД ДОМІШОК





УКРАЇНА

(19) UA (11) 10488 (13) U

(51) 7 A01D33/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ВІДЦЕНТРОВИЙ ФРИКЦІЙНИЙ ОЧИСНИК-ВІДОКРЕМЛЮВАЧ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ ВІД ДОМІШОК

1

(21) u200504247
 (22) 14.05.2005
 (24) 15.11.2005
 (46) 15.11.2005, Бюл. № 11, 2005 р.
 (72) Карпов Владислав Вікторович
 (73) ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ
 (57) Відцентровий фрикційний очисник-відокремлювач коренебульбоплодів від домішок, який містить корпус, відбійник, завантажувальну горзвину, поздовжньо встановлені під кутом до горзвони прогумований спрямовуючий щиток, периферійні та центральні циліндричні відцентро-

2

во-фрикційні барабани, механізм їх регулювання, привід, верхній та нижній вивантажувальні транспортери, який відрізняється тим, що відцентрово-фрикційні барабани обертаються в напрямку від центральної осі симетрії корпусу до периферії і разом з прогумованим спрямовуючим щитком утворюють чотири очисних струмки і два контури очистки, периферійні відцентрово-фрикційні барабани встановлені на різних рівнях та утворюють разом з центральними відцентрово-фрикційними барабанами в поперечному перерізі жолоб, нижній вивантажувальний транспортер встановлений з можливістю зміни кута його нахилу.

Корисна модель відноситься до області зільськогосподарського машинобудування, зокрема, до пристроїв для сухого очищення та відокремлення коренебульбоплодів від домішок, які можуть використовуватися у стаціонарних установках для післязбиральної дробки коренебульбоплодів, в комплекті ліній підготовки коренебульбоплодів до згодування на фермах та кормоцехах.

Відомий пристрій для очищення коренебульбоплодів від домішок і їх транспортування [а.с.1138066, бюл.№5 від 07.02.1985], який містить очищувальний пристрій у вигляді ряду паралельних шнеків із щітковою навивкою різноманітного діаметру, встановлених вздовж поздовжньої осі пруткового транспортеру в різних рівнях, які утворюють в поперечному перерізі жолоб. Очищення коренебульбоплодів відбувається за рахунок активного впливу пружного ворсу шнеків, а також підтримуючого пристрою у вигляді пруткового транспортеру. Недоліком відомого пристрою є травмування коренебульбоплодів робочими органами, нерівномірний знос щіткової навивки шнеків, а також неможливість оперативного регулювання розміру поперечного перерізу жолоба з метою кращого розподілення в ньому потоку коренебульбоплодів.

Відомий щітковий очисник коренеплодів [патент UA №33962, бюл. №1 від 15.02.2001] з аналогічним принципом роботи. Він складається з

двох щіткових барабанів, між якими є один очисний струмок, в який поштучно подаються складові коренеплодні вороху для їх розділення. Основу даного щіткового очисника коренеплодів складає пружна ворсина малої жорсткості з сукупністю очисних стовщень, які мають форму дисків та встановлюються на ній через певну відстань. Через специфіку конструкції коренеплоди переміщуються в очисному струмку виключно в один ряд і в процесі очищення контактують тільки з очисними дисками ворсин перемінного перерізу. Набираючи значну колово швидкість, за рахунок динамічного впливу ворсин, коренеплоди підскакують, можуть перекидатися через щітковий барабан, передчасно покидати зону очистки, недостатньо повно очищуватися від налиплого ґрунту. Крім того, конструкція щіткового очисника коренеплодів не передбачає можливість розділення коренеплодів, які помилково провалилися крізь барабани від правильно відокремлених домішок (грудок, каменів, дрібного ґрунту тощо).

В основу запропонованої корисної моделі поставлено завдання збільшення продуктивності та підвищення ефективності очистки коренебульбоплодів від домішок.

Поставлене завдання досягається шляхом удосконалення конструкції робочих органів відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок. Основний робо-

(19) UA (11) 10488 (13) U

чий орган відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок складається з двох центральних відцентрово-фрикційних циліндричних барабанів і спрямовуючого щитка поміж ними і двох периферійних відцентрово-фрикційних барабанів, встановлених з можливістю їх підйому - опускання, зміни відстані між ними та встановлення їх в різних рівнях для регулювання поперечного перерізу жолобу, який вони утворюють, тобто змінювати робочий об'єм відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок та кількості коренебульбоплодів, які оброблюються в ньому одночасно. Основу конструкції відцентрово-фрикційних барабанів складає набір відцентрових гірлянд, встановлених з певним кроком по довжині і діаметру, які фіксують на валу за допомогою підвісної системи. Одинична відцентрова гірлянда складається із сукупності очисних дисків, встановлених на єдиній гнучкій міцній нерозтяжній нитковидній основі. В конструкцію відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок входить також нижній стрічковий вивантажувальний транспортер з можливістю зміни кута його нахилу до горизонту.

На фіг.1 схематично зображений відцентровий фрикційний очисник-відокремлювач коренебульбоплодів від домішок: на фіг.2 зображений вид А. На фіг.1,2 умовно не показані привід центральних відцентрово-фрикційних барабанів, механізми нахилу робочих органів до горизонту, механізми приводу нижнього і верхнього стрічкових вивантажувальних транспортерів.

Відцентровий фрикційний очисник-відокремлювач коренебульбоплодів від домішок (див. фіг.1,2) складається із корпусу 1 з відбійником 2 і завантажувальною горловиною 3. В корпусі встановлені два центральних відцентрово-фрикційних барабани 4 та прогумований спрямовуючий щиток 5 поміж ними, а також два периферійних відцентрово-фрикційних барабани 6, які отримують оберти від ланцюгової передачі приводу 7, які здатні змінювати своє положення за допомогою механізму регулювання відцентрово-фрикційних барабанів 8. Набір відцентрових гірлянд 9, який складається із міцних гнучких нерозтяжних нитей 10 і сукупності очисних дисків 11, які закріплені на них на певній відстані один від одного і які начіплюються на вали 12 і 13 за допомогою підвісної системи 14. Конструкція відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок містить також завантажувальний транспортер 15, верхній вивантажувальний транспортер коренебульбоплодів 16 та нижній вивантажувальний транспортер 17 для різноспрямованого відводу домішок і помилково відділених коренебульбоплодів.

Відцентровий фрикційний очисник-відокремлювач коренебульбоплодів від домішок працює таким чином. На початку роботи, враховуючи потрібну пропускну здатність, ступінь початкової засміченості коренебульбоплодів, стану та розмірно-масових характеристик коренебульбоплодів і домішок, встановлюють визначений кут нахилу α системи до горизонту, яка складається із чотирьох відцентрово-фрикційних барабанів і

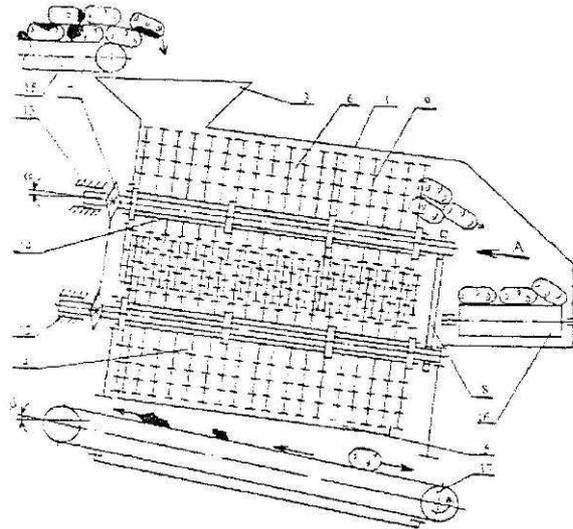
спрямовуючого щитка. За допомогою механізму регулювання встановлюють необхідний кут γ підйому-опускання периферійних відцентрово-фрикційних барабанів, а також зазор поміж ними, центральними відцентрово-фрикційними барабанами і спрямовуючим щитком. Для зрівноваження вертикальної складової сили ваги компонентів коренебульбоплідного вороху створюють необхідне поле відцентрових сил, встановлюючи частоту обертання ω_1 центральних відцентрово-фрикційних барабанів, а для зрівноваження горизонтальної складової сили ваги встановлюють частоту обертів ω_2 периферійних відцентрово-фрикційних барабанів, причому $\omega_1 > \omega_2$, а обертання усіх відцентрово-фрикційних барабанів встановлюють в напрямку від спрямовуючого щитка, тобто від центральної осі симетрії корпусу до його периферії. При такому варіанті обертання основного робочого органу усередині робочого об'єму відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок будуть утворюватися два різноспрямованих контури очистки (див. фіг.2), вздовж яких пошарове будуть переміщуватися коренебульбоплоди спочатку від спрямовуючого щитка до периферійних відцентрово-фрикційних барабанів, далі підніматися на певну висоту, скочуватися і знову повторювати контурний рух. Крім того, у процесі роботи коренебульбоплоди під дією сили власної ваги будуть переміщатися по похилій ротаційній відцентрово-фрикційній поверхні зверху вниз, інтенсивно взаємодіяти один з одним, з очисними дисками відцентрових гірлянд та з прогумованим спрямовуючим щитком. Далі коренебульбоплоди потрапляють на верхній вивантажувальний транспортер, а камені, грудки, відокремлений ґрунт просяюються вниз і потрапляють на нижній вивантажувальний транспортер, кут нахилу якого встановлюють таким чином, щоб домішки відводилися стрічкою транспортера в один бік (див. фіг.2), а коренебульбоплоди, які помилково провалилися крізь відцентрово-фрикційні барабани, в інший.

Таким чином, за рахунок використання в конструкції відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок чотирьох відцентрово-фрикційних барабанів та одного прогумованого спрямовуючого щитка утворюється чотири очисних струмки, поштучне потрапляння компонентів коренебульбоплідного вороху замінюється одночасною обробкою визначеного об'єму коренебульбоплодів, що приводить до збільшення продуктивності. За рахунок правильного настроювання частоти і напрямку обертання відцентрово-фрикційних барабанів та кутів нахилу робочих органів забезпечується складний контурний рух коренебульбоплодів, в результаті чого відбувається інтенсивне очищення їх поверхонь від налиплого ґрунту та відділення вільного ґрунту і каменів, що приводить до підвищення ефективності очистки коренебульбоплодів.

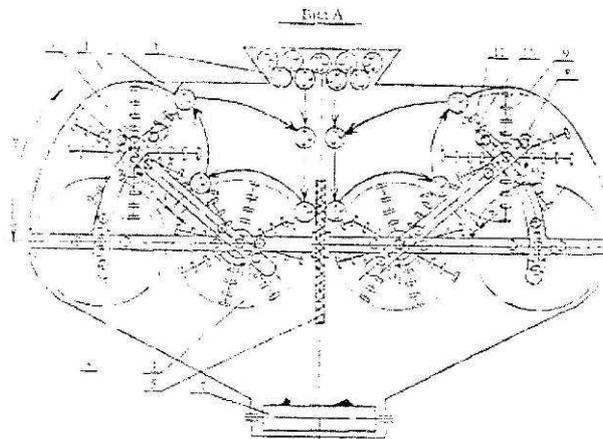
Застосування відцентрового фрикційного очисника-відокремлювача коренебульбоплодів від домішок на стаціонарних установках для післязбиральної доробки коренебульбоплодів, в комплекті ліній підготовки коренебульбоплодів до згодування на фермах і в кормоцехах дозволяє підвищити

ефективність очистки коренебульбоплодів від домішок за рахунок рівномірного їх розподілу по всій похилій ротаційній циліндричній поверхні, а також збільшити продуктивність за рахунок заміни

поштучного подавання коренебульбоплодів між відцентрово-фрикційними барабанами їхньою об'ємною обробкою.



Фіг. 1



Фіг.2



УКРАЇНА
(19) (UA)

(11) 10482

(51) 7 A01D33/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на корисну модель

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М. Паладій

(21) и 2005 04226
(22) 04.05.2005
(24) 15.11.2005
(46) 15.11.2005. Бюл.№ 11

(72) Карпов Владіслав Вікторович, Бойко Анатолій Іванович
(73) ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(54) КОНІЧНИЙ ОЧИСНИК КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ

УКРАЇНА



УКРАЇНА

(19) UA (11) 10482 (13) U

(51) 7 A01D33/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) КОНІЧНИЙ ОЧИСНИК КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ

1

2

(21) u200504226
 (22) 04.05.2005
 (24) 15.11.2005
 (46) 15.11.2005, Бюл. № 11, 2005 р.
 (72) Кривов Владислав Вікторович, Бойко Анатолій Іванович
 (73) Луганський національний аграрний університет
 (57) Конічний очисник коренебульбоплодів, який включає несучу раму, поздовжньо встановлені під

кутом до горизонту відцентрово-фрикційні барабани, підвісну систему, привід, який відрізняється тим, що між відцентрово-фрикційними барабанами встановлений зі сталим зазором по довжині прогумований спрямовуючий щиток; відцентрово-фрикційні барабани виконані у формі зрізаного конуса; відцентрові гірлянди начіплюються шарнірно за допомогою підвісної системи, виконані гнучкими і мають очисні диски, відстань між якими більша, ніж половина їхнього діаметра.

Корисна модель відноситься до області сільськогосподарського машинобудування, зокрема до пристроїв для очищення коренебульбоплодів від домішок без застосування води, які можуть використовуватися у стаціонарних очисних сортувальних пунктах або лініях, на мобільних машинах, в технологічних лініях кормоцехів по підготуванні коренебульбоплодів до згодування, у сховищах тощо.

Основним робочим органом відомих щіткових очисників [а.с. 1757514, бюл. №32 від 30.08.1992] є ворс - сукупність гладких стрижнів малої жорсткості розмішених поодиночці чи зібраних в пучки, основним принципом роботи яких є активна чи пасивна взаємодія з коренебульбоплодами з метою їх віджремлення від каменів та грудок чи очищення їх поверхонь від налиплого ґрунту. У процесі своєї роботи через контакт з поверхнями коренебульбоплодів ворс згинається, причому величина його деформації співрозмірна з вільною довжиною кожної ворсини.

Основним недоліком прототипів є недостатнє копіювання нерівностей поверхні коренебульбоплодів, нерівномірний знос по довжині ворсини чи пучка внаслідок значних деформацій, злом ворсин в місці їх защемлення в сердечнику через знакозмінні навантаження, виконання ворсинами очисних функцій у той час, коли їхні кінці становлять із поверхню, що очищують, кут 90° або близький до нього, а також те, що одна ворсина утворює одну поверхню тертя.

В найбільш близьких по технічній сутності очисних пристроях з аналогічним принципом робо-

ти [а.с. 33962, бюл. №1 від 15.02.2001] конструкція ворсин складається із пружних стрижнів малої жорсткості з встановленими на них через певну відстань очисними стовщеннями у формі дисків. Але практика використання цих пристроїв довела, що коренебульбоплоди при очищуванні набувають значну колову швидкість, підскакують і, як наслідок, погіршується контакт поміж ними та робочими органами очисного пристрою, zdeформована пружна основа ворсин із очисними дисками, розташованими на незначній відстані один від одного, під дією відцентрових сил утворюють досить жорстку конструкцію, яка недостатньо повно копіює поверхню коренебульбоплоду і навіть, на певних режимах роботи, може привести до їх травмування. Крім того, два щіткових барабани очисного пристрою утворюють один очисний струмок, що не є раціональним з точки зору підвищення продуктивності.

В основу запропонованої корисної моделі поставлено завдання знизити ризик травмування коренебульбоплодів і підвищення показників якості їх очистки.

Поставлене завдання досягається шляхом удосконалення конструкції робочого органу конічного очисника коренебульбоплодів.

Робочий орган конічного очисника коренебульбоплодів складається із двох відцентрових фрикційних барабанів у формі зрізаного конуса та спрямовуючого щитка поміж ними. Гнучка міцна нерозтяжна нитковидна основа та очисні диски, які встановлені на ній з кроком між ними, рівним менш половини їхнього діаметру, утворюють кон-

(19) UA (11) 10482 (13) U

струкцію одиничного робочого елемента - відцентрової гірлянди.

Удосконалена конструкція робочого органу конічного очисника коренебульбоплодів забезпечує зниження колових швидкостей обертання коренебульбоплодів при їх очищенні, поліпшення контакту між ними і робочим органом та зниження жорсткості робочих елементів.

На фіг.1 схематично зображений конічний очисник коренебульбоплодів з робочим органом у формі зрізаного конусу; на фіг.2 зображений вид А; на фіг.3 зображений перетин 1 - 1. На фіг. 1,2,3 умовно не показані механізми нахилу робочого органа, механізм регулювання зазору поміж спрямовуючим щитком і відцентрове - фрикційними барабанами, а також рама та механізм приводу.

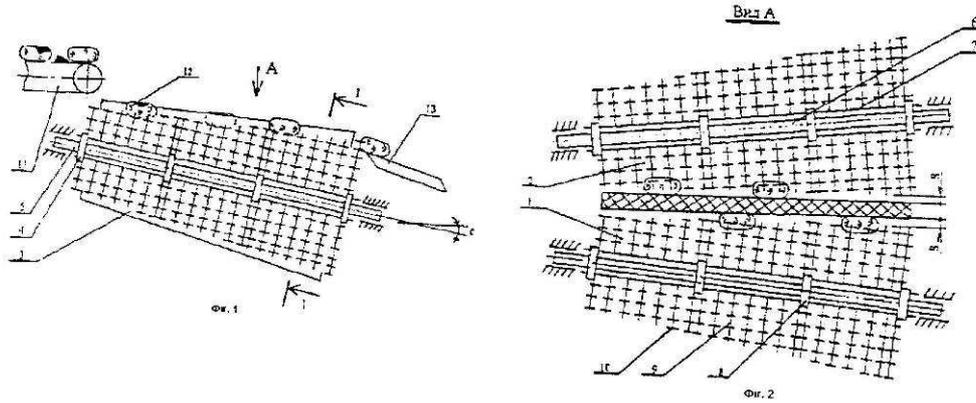
Конічний очисник коренебульбоплодів (фіг. 1,2) містить два поздовжньо розташованих на суцільній рамі відцентрове - фрикційних барабани 1 і 2 зі встановленим між ними прогумованим спрямовуючим щитком 3. Прогумований спрямовуючий щиток та відцентрове - фрикційні барабани, які виконані у формі зрізаного конусу і обертаються за допомогою ланцюгових передач механізму приводу (умовно не показані), встановлені з постійним зазором S по довжині та під визначеним кутом нахилу до обрїю. Сердечник 4, розміщений на валу 5 і 6 та тонкі металеві вісі 7 утворюють підвісну систему 8, на яку націплюються шарнірне і фіксуються відцентрові гірлянди 9. Відцентрові гірлянди (див.фіг.3) складаються із гнучкої міцної нерозтяжної нитковидної основи зі встановленими на ній очисними дисками 10. Причому відстань між двома сусідніми очисними дисками повинна перевищувати половину їхнього діаметру з тим, щоб в процесі згину вони не обпиралися один в одного та не утворювали жорсткої конструкції. Конічний очисник коренебульбоплодів містить також транспортер 11, який подає коренебульбоплоди 12 в очисні струмки, які утворені двома відцентрове - фрикційними барабанами та одним прогумованим спрямовуючим щитком, а також щиток 13 для відводу коренебульбоплодів.

Конічний очисник коренебульбоплодів працює таким чином. Коренебульбоплоди подаються завантажувальним транспортером та розподіляються в два очисні струмки. З однієї сторони коренебульбоплоди взаємодіють з нерухо-

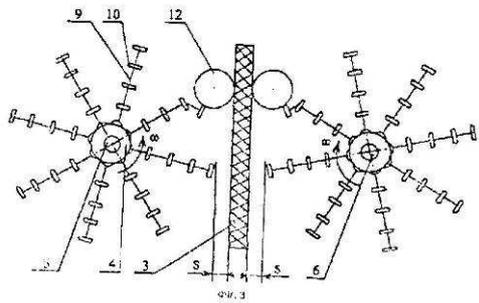
мими поверхнями прогумованого спрямовуючого щитка, а з другої сторони стикаються з очисними дисками відцентрових гірлянд. В результаті одностороннього кінематичного впливу коренебульбоплоди повертаються навколо власних осей з невеликою коловою швидкістю та не підскакують. Спочатку очисні диски, які з'єднані гнучкою в'яззю, динамічно діють на поверхні коренебульбоплодів і налиплий ґрунт та ослаблюють сили зчеплення між ними, потім переміщуються по цих поверхнях, копіюють їх нерівності та за допомогою тертя очищують їх. У процесі роботи коренебульбоплоди під дією складової сили ваги переміщуються вздовж очисних струмків зверху вниз, інтенсивно очищуються та за допомогою щитка відводяться в тару. При цьому відокремлені домішки просипаються вниз і відводяться за межі конічного очисника коренебульбоплодів.

Таким чином, за рахунок встановлення прогумованого спрямовуючого щитка досягається підвищення кількості очисних струмків, що приводить до росту продуктивності; за рахунок встановлення прогумованого спрямовуючого щитка і виконання відцентрове - фрикційних барабанів у формі зрізаного конусу досягається зниження та поступове зміння колової швидкості обертання коренебульбоплодів навколо власних осей, поліпшення контакту коренебульбоплодів з робочим органом і виключення підскакування, що приводить до підвищення показників якості їх очищення. Заміна пружної основи відцентрової гірлянди на гнучку міцну нерозтяжну основу, а також збільшення відстані між сусідніми очисними дисками до величини, більшої ніж половина їхнього діаметру, дозволяє знизити жорсткість відцентрової гірлянди в процесі її роботи, що приводить до зменшення травмування коренебульбоплодів при очищенні.

Застосування конічного очисника коренебульбоплодів на стаціонарних очисних сортувальних пунктах або лініях, на мобільних машинах дозволить підвищити продуктивність за рахунок збільшення кількості очисних струмків, більш повно очищувати коренебульбоплоди від налиплиго ґрунту та вільних включень (каменів, грудок), підвищити показники якості очистки та знизити травмування коренебульбоплодів за рахунок зниження жорсткості і збільшення гнучкості робочих елементів конічного очисника коренебульбоплодів.



1-1



Комп'ютерна ворстка М. Ключін Підписо Тираж 26 прим.

Міністерство освіти і науки України
 Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна
 ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 33962 A

(51) 6 A 01D 33/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСТІ



Деклараційний патент на винахід

зареєстровано відповідно до Закону України
про захорону прав на винаходи і корисні моделі" від 15 грудня 1993 року № 3687-XII
у редакції від 1 червня 2000 року № 1771-III

Голова Департаменту

М. Паладій

(21) 990527.6

(22) 05.05.1999

(24) 15.02.2001

(46) 15.02.2001 Бюл.№ 1

(72) Зубков Дмитро Євгенович, Карпов Владислав Вікторович

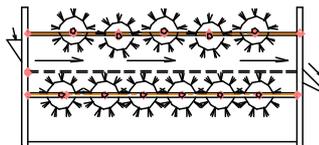
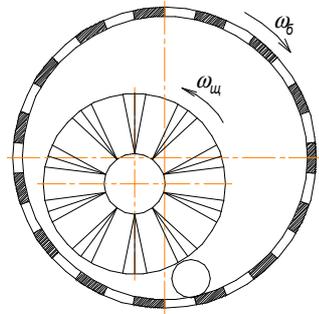
(73) Луганський державний аграрний університет

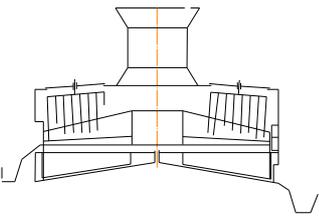
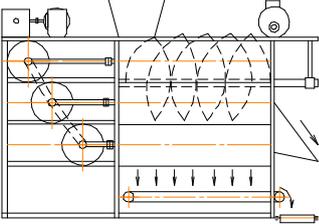
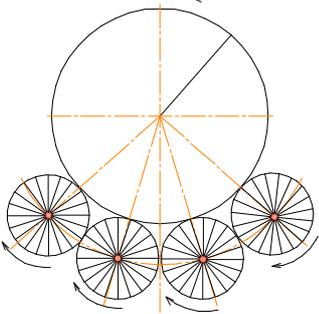
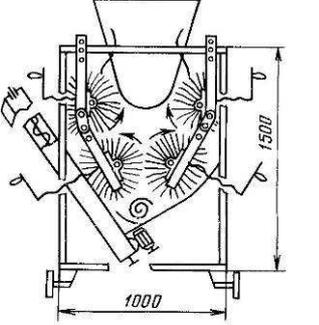
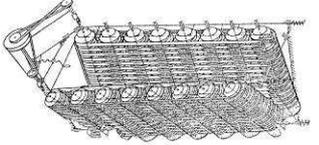
(54) ЩІТКОВИЙ РІЧИСНИК КОРЕНЕПЛОДІВ

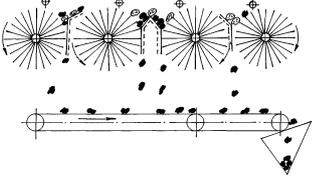
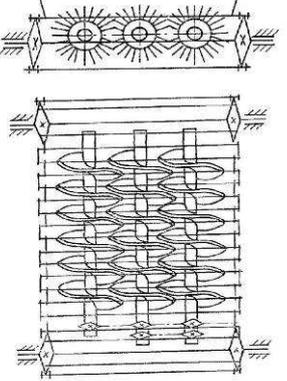
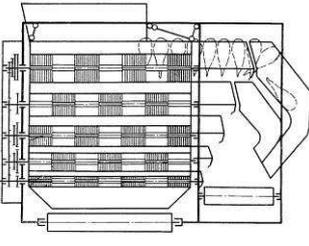
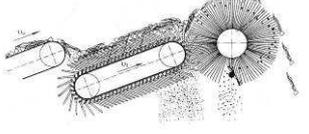
УКРАЇНА

ПРИЛОЖЕНИЕ В

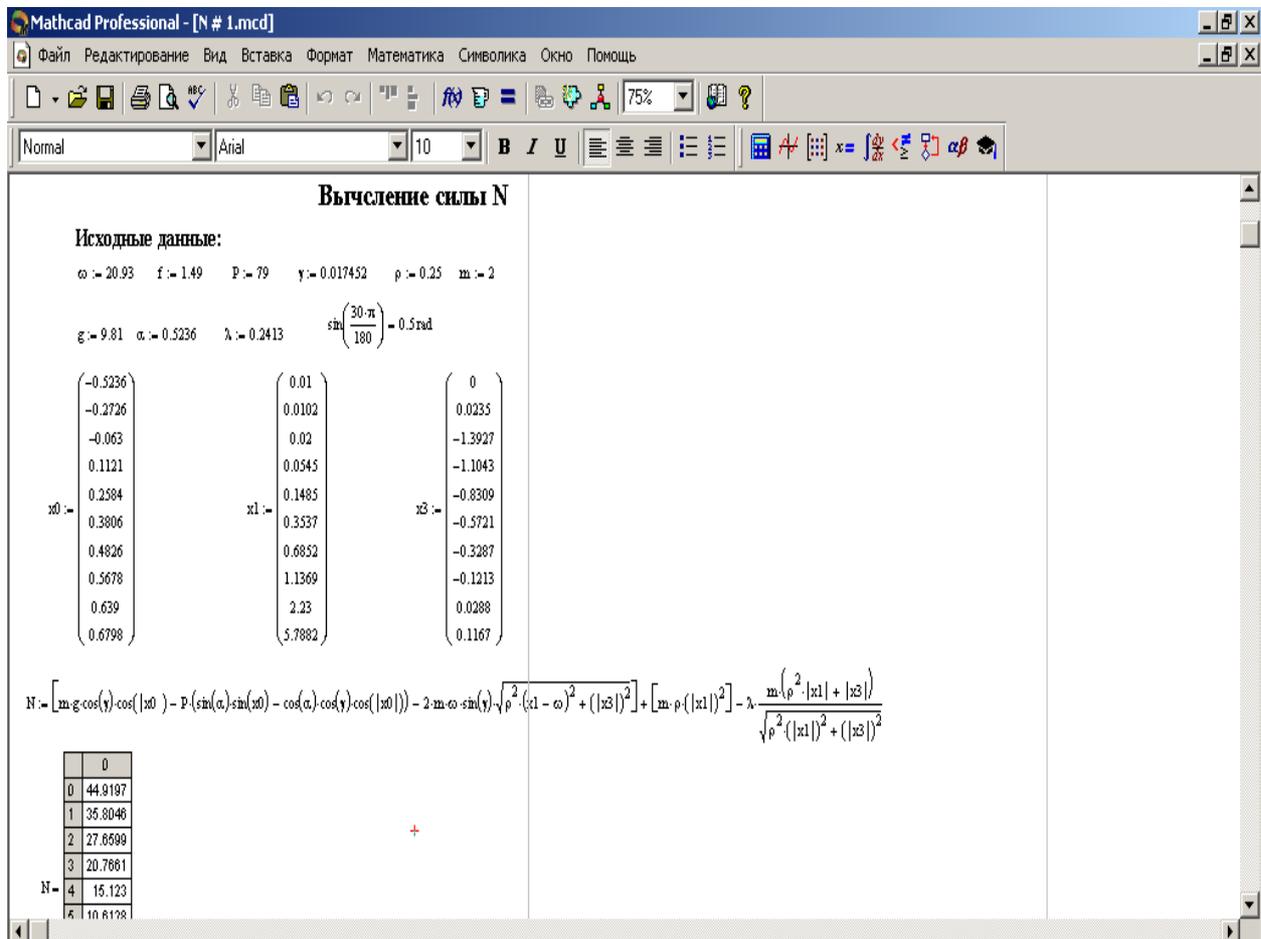
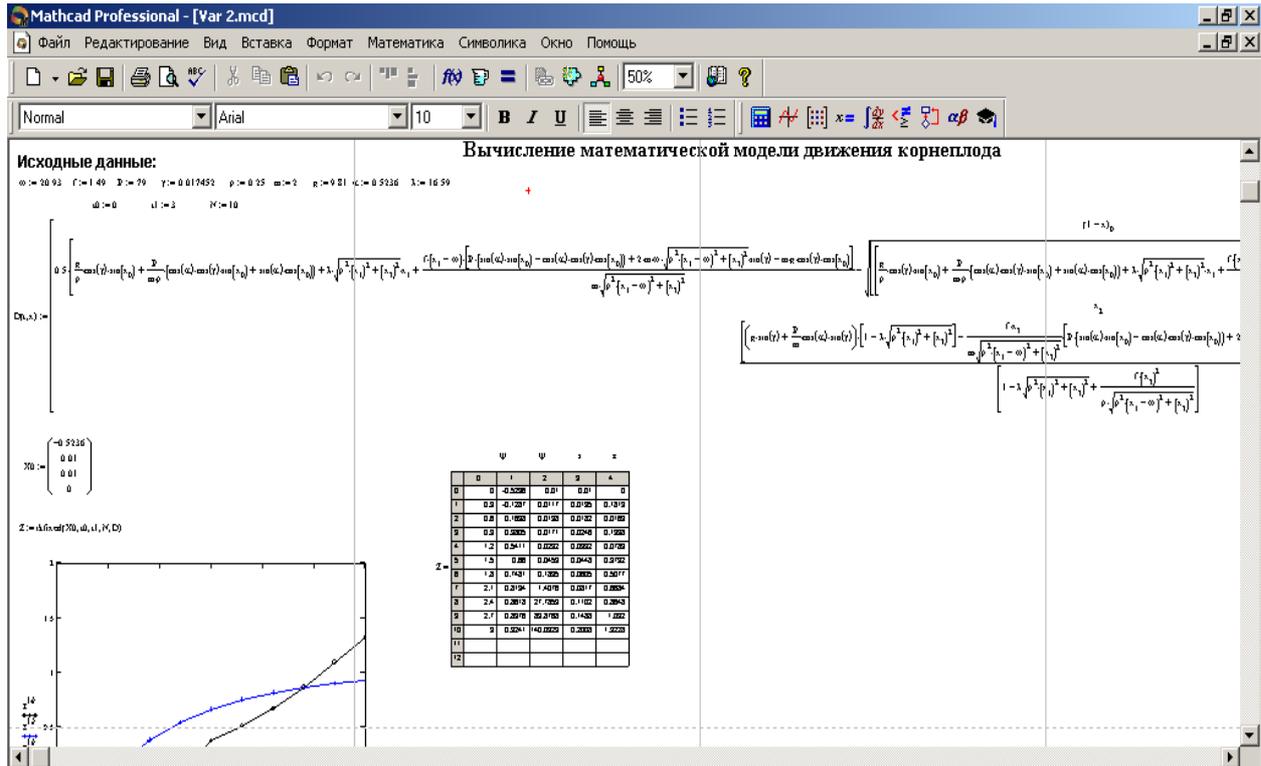
Анализ устройств со щеточными рабочими органами для очистки и отделения корнеклубнеплодов от примесей

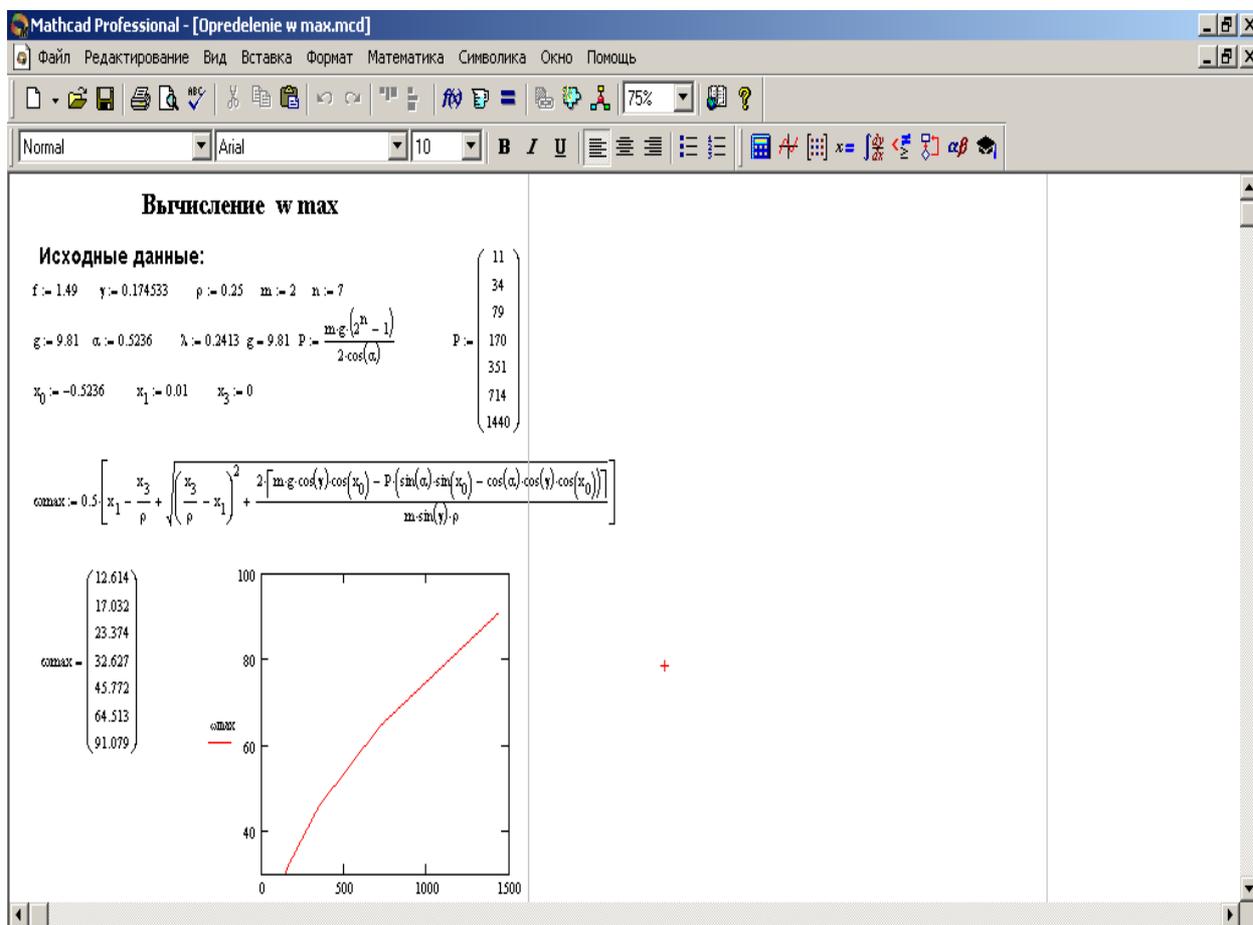
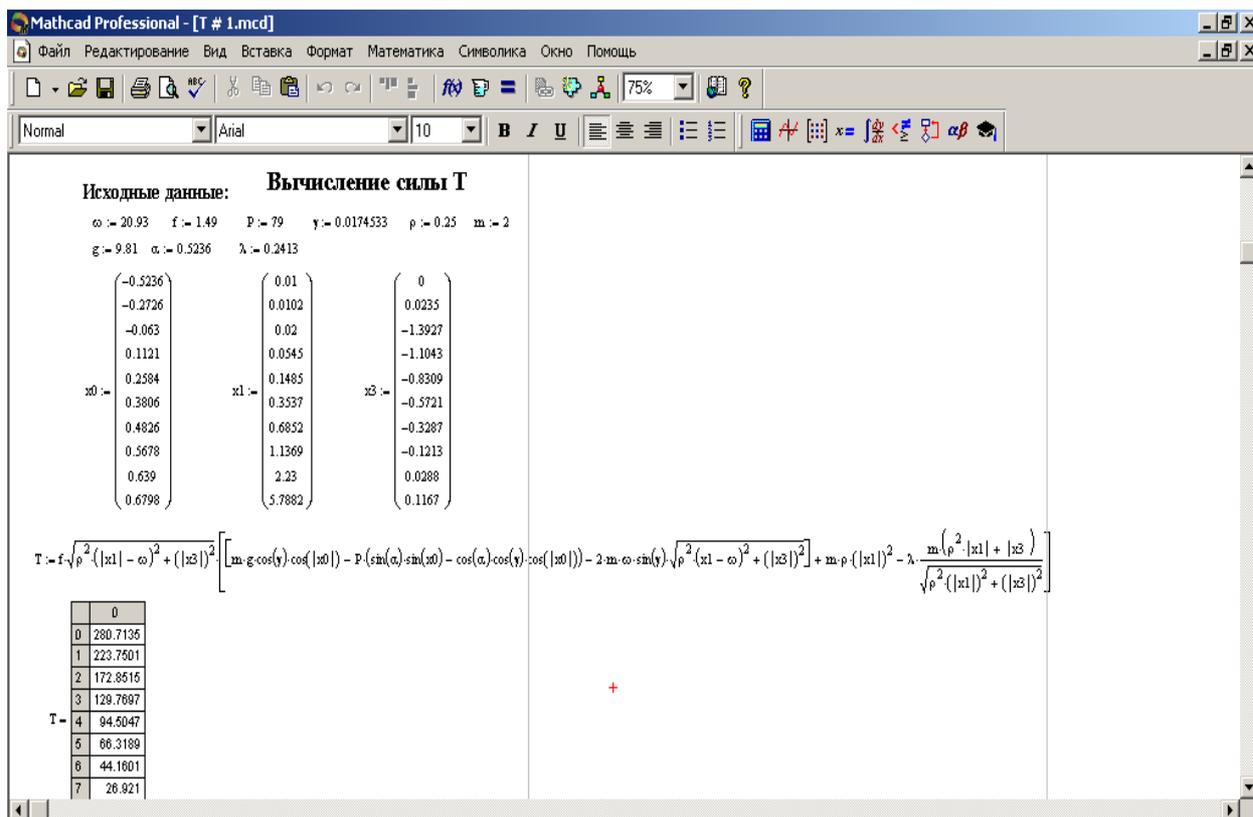
Авторы и область использования	Типы рабочих органов	Конструктивно-технологическая схема	Виды отделяемых примесей					Оценка эффективности работы
			Мелкая почва	Комки	Камни	Налипшая почва	Растит. примеси	
Щеточный очиститель. С.А.Найданов В.А.Пучков Для кормоприготовительных цехов хранилищ.	Цилиндрические щетки, шнек большого диаметра		+			+	+	Не отделяются камни, включения размером 25x25x30мм, а также плотные комки почвы. Повреждения минимальны. Высокий процент отделения связанных примесей
Щеточный очиститель Л.И.Слав, В.М.Архиреев Для кормоцехов, хранилищ	Цилиндрическая щетка внутри барабанного грохота		+		+ -	+		Хорошо отделяет мелкие почвенные включения и налипшую почву. Удовлетворительно отделяет комки и камни. Достаточно высокий процент повреждения корнеплодов
Барабанно-щеточный очиститель. А.В.Дервиш, В.И.Сыроватка Для хранилищ корнеклубнеплодов	Цилиндрическая щетка внутри барабанного грохота		+			+		Высокий процент отделения мелкой рассыпной почвы и налипшей почвы на корнеплодах. Удовлетворительно отделяет растительные остатки. Низкий процент повреждения корнеплодов

<p>Роторно-щеточный очиститель М.К.Дусенов Для кормоцехов, МКПА</p>	<p>Наклонно установленные цилиндрические щетки и диск с лопатками</p>		+			+	+	<p>Эффективно очищает от налипшей почвы и остатков ботвы. Довольно высокий процент повреждаемости корнеклубнеплодов</p>
<p>Щеточный очиститель Ю.А.Дикарев, Б.В.Кононов, Ч.С.Агданов. Для кормоцехов, хранилищ</p>	<p>Шнек и желобовообразно установленные цилиндрические щетки</p>		+			+	+	<p>Интенсивная очистка от налипшей почвы и остатков ботвы. Эффективно отделяет от мелкой рассыпчатой почвы. Невысокий процент повреждаемости корнеплодов и обрушения почвенных комков</p>
<p>Аппарат сухой очистки. Д.И.Николаев, Д.Ю.Лямин. Для кормоцехов, хранилищ</p>	<p>Шнековый транспортер и цилиндрические щетки</p>		+	+	+	+		<p>Удовлетворительное отделение почв. комков и камней. Эффективное отделение мелкой свободной почвы и налипшей грязи. Низкое травмирование корнеплодов</p>
<p>Щеточный очиститель Ч.Д.Жамьянов, А.С. Таушканов Для кормоцехов, хранилищ</p>	<p>Цилиндрические вращающиеся щетки, образующие камеру переменного сечения</p>		+	+	+	+		<p>Эффективное отделение налипшей и мелкой сыпучей почвы. Низкий процент травмированных корнеплодов. Удовлетворительное отделение камней и комков</p>
<p>А.В.Байко Очиститель корнеплодов. На мобильных корнеуборочных машинах. А.С. 1757514А1</p>	<p>Цилиндрические наборы щеточных дисков, образующих V-образные секции</p>		+	+		+		<p>Качественное отделение мелкой сыпучей почвы. Удовлетворительное отделение камней и комков. Низкий процент травмированных корнеплодов</p>

Щеточный сепаратор на картофелеуборочных комбайнах фирмы «Люни» (Германия)	Цилиндрические щеточные барабаны с заслонками, установленные наклонно		+	+	+			Качественное отделение камней и почвенных комков. Удовлетворительное отделение мелкой сыпучей почвы. Нет повреждения клубней
М.Г. Данильченко, И.Н. Маркович и др. Транспортер-очиститель корнеклубнеплодов для корнеуборочных машин и подборщиков-загрузчиков. А.С. 1138066	Прутковый транспортер и очищающее устройство в виде параллельных шнеков со щеточной навивкой		+	+	+			Эффективное отделение сыпучей почвы. Удовлетворительное отделение комков и камней. Низкий процент повреждения корнеклубнеплодов
А.В. Байко. Устройство для очистки корней сахарной свеклы от примесей для хранилищ и перерабатывающих предприятий	Ярусные вибродетки и встречно-вращающиеся щеточные валы		+			+	+	Качественное просеивание свободной почвы и отделение налипших загрязнений. Низкий процент поврежденных корнеплодов
Н.П. Ларюшкин, А.М. Ларюшкин. Сепарирующее устройство для машинной уборки корнеплодов	Разделительная горка с упругими пальцами и цилиндрическая щетка с деформатором		+					Качественное отделение свободной почвы размерами, соизмеримыми с луковичками. Нет удаления ботвы и повреждения луковиц

ПРИЛОЖЕНИЕ Г





ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Техническая характеристика USB осциллографа КИТ ВМ8020

№ п/п	Наименования показателей	Единицы измерений	Значения
1	Количество каналов	шт	2
2	Частота дискретизации	кГц	0,1...200
3	Глубина памяти (чтение через буфер)	отсчет/канал	1126 (1 канал) 563 (2 канала)
4	Входное напряжение	В	-20 ... +20
5	Разрядность АЦП	бит	10
6	Оконные функции	Хамминга, Ханнинга, Блэкмана, Блэкмана-Харриса	
7	Максимальное время записи при $F_d < 100$ Гц	час	24
8	Напряжение питания постоянное, только USB	В	+4,75...5,25
9	Потребляемый ток	мА	55
10	Поддерживаемые ОС		Win98, 2000, XP, Vista, Win7
11	Полоса пропускания	кГц	0,1...200
12	Габаритные размеры без учета разъемов, ДхШхВ	мм	80 x 41 x 16

Техническая характеристика тензорезисторов одиночных прямоугольных П-1

№ п/п	Наименования показателей	Единицы измерений	Значения
1	Номинальная база (длина тензорешетки)	мм	10
2	Номинальное сопротивление	Ом	100
3	Класс точности		Б
4	Коэффициент термокомпенсации: (сталь)		12
5	Максимальная измеряемая деформация,:	мкм/м	± 3000
6	Чувствительность		1,9 – 2,3
7	Температурный диапазон работы: от минус	°С	70...200

Техническая характеристика измерительного комплекта К-505

№ п/п	Наименования показателей	Единицы измерений	Значения
I	Амперметр ГОСТ 8711-60		
1	Класс точности		0,5
2	Пределы измерения	А	0 - 100
3	Частота тока	Гц	40 - 65
II	Вольтметр ГОСТ 8711-06		
1	Класс точности		0,5
2	Пределы измерения	В	75 - 600
3	Класс точности		1
4	Пределы измерения	В	30 - 75
5	Номинальный ток	мА	7,5
III	Ваттметр ГОСТ 8476-60		
1	Класс точности		0,5
2	Напряжение	В	75 - 600
3	Класс точности		1
4	Напряжение	В	30
5	Пределы измерения	кВт	0 – 24
6	Номинальный ток параллельной цепи	мА	3

Техническая характеристика инвертора векторного управления марки СНЕ 100-2R2G-4

№ п/п	Наименования показателей	Единицы измерений	Значения
1	Номинальная выходная мощность	кВт	2,2
2	Номинальная входная сила тока	А	5,8
3	Номинальная выходная сила тока	А	5
4	Мощность двигателя	кВт	2,2
5	Диапазон входных частот	Гц	47–63

6	Диапазон выходных частот	Гц	0 - 400
7	Допускаемые перегрузки	60с 150% от номинальной силы тока, 10с 180% от номинальной силы тока	
8	Пусковой крутящий момент	150% от крутящего момента при 0,5 Гц	
9	Диапазон регулирования скорости		1:100
10	Точность установки скорости		±0,5% от max скорости
11	Несущая частота	кГц	0,5–15,0
12	Количество защит: токовая защита, перенапряжение, низкое напряжение, перегрев, обрыв фазы, перегрузка и др.		24

Техническая характеристика весов лабораторных электронных ТВЕ-6-0,1

№ п/п	Наименования показателей	Единицы измерений	Значения
1	Дискретность	г	0,1
2	Наименьший предел взвешивания	г	2
3	Наибольший предел взвешивания	г	6000
4	Диаметр платформы	мм	145
5	Класс точности		4
6	Время стабилизации показов	сек	3
7	Рабочая температура	°С	+10...+35

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Диаграмма эффектов факторов, влияющих на удельную энергоёмкость процесса очистки Y2, кВт-ч/т

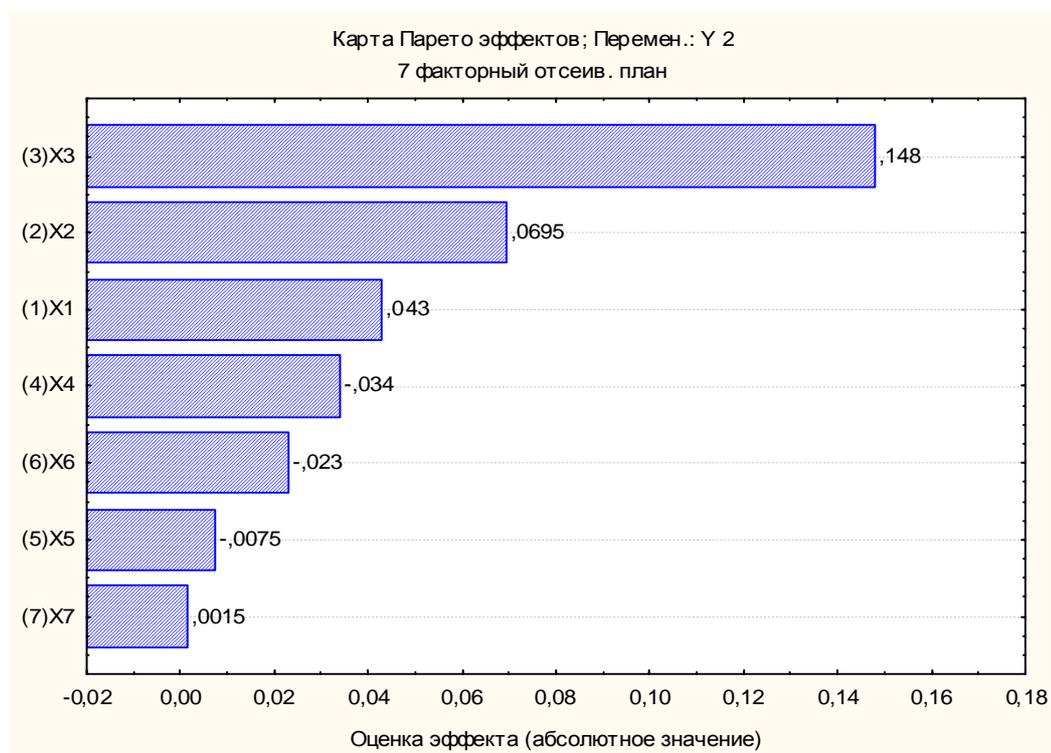
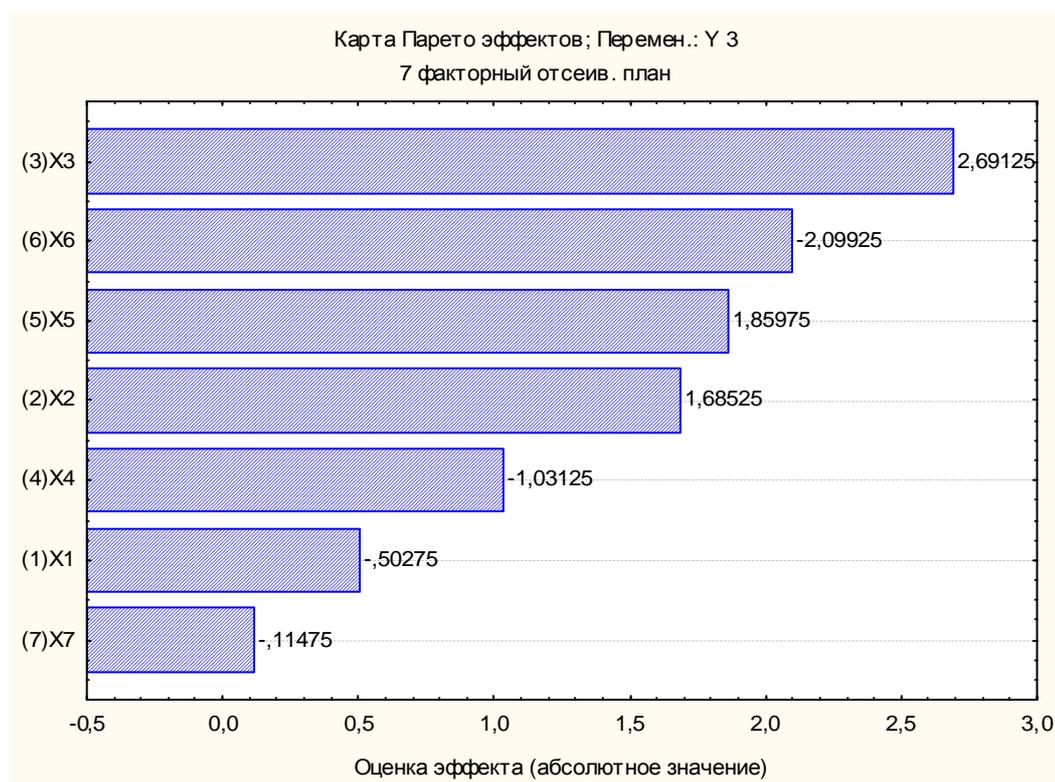


Диаграмма эффектов факторов, влияющих на потери корнеплодов при очистке, %



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Таблица Ж.1

Матрица планирования и результаты экспериментов для функций отклика $Y1$, $Y2$

$Y1$ – показатель эффективности очистки, %									
№п/п	X_1	X_2	X_3	X_4	$Y1_1$	$Y1_2$	$Y1_3$	$Y1_4$	$\hat{Y}1$
1	–	–	–	–	79,833	80,341	79,988	79,687	79,977
2	–	+	–	+	83,578	82,783	82,965	84,168	83,371
3	–	–	+	+	84,251	84,127	83,380	84,384	84,036
4	–	+	+	–	83,884	84,419	83,453	83,994	83,935
5	+	–	–	+	85,593	85,195	86,147	84,446	85,345
6	+	+	–	–	85,714	84,743	85,243	85,331	85,258
7	+	–	+	–	85,876	85,734	85,286	86,448	85,836
8	+	+	+	+	87,050	88,563	87,587	87,907	87,777
9	0	0	0	0	86,178	86,704	86,226	87,438	86,636
$Y2$ – удельная энергоёмкость процесса очистки, кВт-ч/т									
№п/п	X_1	X_2	X_3	X_4	$Y2_1$	$Y2_2$	$Y2_3$	$Y2_4$	$\hat{Y}2$
1	–	–	–	–	0,132	0,154	0,136	0,139	0,140
2	–	+	–	+	0,201	0,269	0,198	0,236	0,226
3	–	–	+	+	0,254	0,290	0,272	0,256	0,268
4	–	+	+	–	0,292	0,288	0,278	0,275	0,283
5	+	–	–	+	0,339	0,306	0,357	0,278	0,320
6	+	+	–	–	0,358	0,411	0,386	0,395	0,388
7	+	–	+	–	0,415	0,389	0,388	0,403	0,399
8	+	+	+	+	0,388	0,420	0,397	0,403	0,402
9	0	0	0	0	0,344	0,333	0,331	0,340	0,337

Таблица Ж.2.

Расчет дисперсии воспроизводимости опытов

$Y1$ – показатель эффективности очистки, %							
№п/п	$Y1_1$	$Y1_2$	$Y1_3$	$Y1_4$	$\hat{Y}1$	$(Y1_i - \hat{Y}1)^2$	s_i^2
1	79,833	80,341	79,988	79,687	79,977	0,2376	0,0792
2	83,578	82,783	82,965	84,168	83,371	1,1886	0,3962
3	84,251	84,127	83,380	84,384	84,036	0,606	0,2020
4	83,884	84,419	83,453	83,994	83,935	0,4728	0,1576
5	85,593	85,195	86,147	84,446	85,345	1,5354	0,5118
6	85,714	84,743	85,243	85,331	85,258	0,4788	0,1596
7	85,876	85,734	85,286	86,448	85,836	0,6891	0,2297
8	87,050	88,563	87,587	87,907	87,777	1,1994	0,3998
$Y2$ – удельная энергоёмкость процесса очистки, кВт-ч/т							
№п/п	$Y2_1$	$Y2_2$	$Y2_3$	$Y2_4$	$\hat{Y}2$	$(Y2_i - \hat{Y}2)^2$	s_i^2
1	0,132	0,154	0,136	0,139	0,140	0,00027	0,00009
2	0,201	0,269	0,198	0,236	0,226	0,0033	0,0011
3	0,254	0,290	0,272	0,256	0,268	0,0009	0,0003
4	0,292	0,288	0,278	0,275	0,283	0,00018	0,00006
5	0,339	0,306	0,357	0,278	0,320	0,0036	0,0012
6	0,358	0,411	0,386	0,395	0,388	0,0015	0,0005
7	0,415	0,389	0,388	0,403	0,399	0,0006	0,0002
8	0,388	0,420	0,397	0,403	0,402	0,0006	0,0002

Вспомогательная таблица для расчета значимости коэффициентов регрессии и критерия Фишера

YI – показатель эффективности очистки, %								
№п/п	YI_1	YI_2	YI_3	YI_4	\hat{YI}	$(YI_i - \hat{YI})^2$	\check{YI}	$(\check{YI} - \hat{YI})^2$
1	79,833	80,341	79,988	79,687	79,977	0,2376	80,542	0,3191
2	83,578	82,783	82,965	84,168	83,371	1,1886	83,210	0,0261
3	84,251	84,127	83,380	84,384	84,036	0,606	83,831	0,0421
4	83,884	84,419	83,453	83,994	83,935	0,4728	83,737	0,0393
5	85,593	85,195	86,147	84,446	85,345	1,5354	85,147	0,0393
6	85,714	84,743	85,243	85,331	85,258	0,4788	85,053	0,0421
7	85,876	85,734	85,286	86,448	85,836	0,6891	85,674	0,0261
8	87,050	88,563	87,587	87,907	87,777	1,1994	88,342	0,3191
$Y2$ – удельная энергоемкость процесса очистки, кВт-ч/т								
№п/п	$Y2_1$	$Y2_2$	$Y2_3$	$Y2_4$	$\hat{Y2}$	$(Y2_i - \hat{Y2})^2$	$\check{Y2}$	$(\check{Y2} - \hat{Y2})^2$
1	0,132	0,154	0,136	0,139	0,140	0,00027	0,172	0,00104
2	0,201	0,269	0,198	0,236	0,226	0,0033	0,217	0,00009
3	0,254	0,290	0,272	0,256	0,268	0,0009	0,243	0,00061
4	0,292	0,288	0,278	0,275	0,283	0,00018	0,285	$0,3 \times 10^{-5}$
5	0,339	0,306	0,357	0,278	0,320	0,0036	0,322	$0,3 \times 10^{-5}$
6	0,358	0,411	0,386	0,395	0,388	0,0015	0,363	0,00061
7	0,415	0,389	0,388	0,403	0,399	0,0006	0,390	0,00009
8	0,388	0,420	0,397	0,403	0,402	0,0006	0,434	0,00104

Таблица Ж.4

Вспомогательная таблица для расчета остаточной суммы квадратов и критерия Фишера

№п/п	Y_{01}	Y_{02}	Y_{03}	Y_{04}	\hat{Y}_0	$(Y_{0i} - \hat{Y}_0)^2$	\tilde{Y}_0	$(\tilde{Y}_0 - \hat{Y}_0)^2$
Y1 – показатель эффективности очистки, %								
1	86,178	86,704	86,226	87,438	86,636	1,0257	86,4733	0,02646
2	86,704	86,703	86,227	86,321	86,239	0,5104	86,4733	0,05491
3	86,713	86,375	87,127	85,966	86,545	0,7311	86,4733	0,00514
Y2 – удельная энергоемкость процесса очистки, кВт-ч/т								
1	0,301	0,369	0,298	0,336	0,326	0,00336	0,331	0,00003
2	0,348	0,315	0,366	0,287	0,329	0,00369	0,331	$0,4 \times 10^{-5}$
3	0,346	0,333	0,331	0,341	0,338	0,00015	0,331	0,00005

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица И

Матрица планирования и программа крутого восхождения по поверхности отклика для удельной энергоемкости очистки Y_2

Обозначения	Частота вращения барабанов c^{-1}	Диаметр барабанов м	Длина барабанов м	Высота эллиптич. утолщений, м	Удельн. энергоем. очистки, %
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_2
Верхний уровень (+)	20,93	0,6	1,5	0,02	
Основной уровень (0)	15,70	0,5	1,0	0,01	
Нижний уровень (-)	10,46	0,4	0,5	0	
Опыты:					
1	–	–	–	–	0,140
2	–	+	–	+	0,226
3	–	–	+	+	0,268
4	–	+	+	–	0,283
5	+	–	–	+	0,320
6	+	+	–	–	0,388
7	+	–	+	–	0,399
8	+	+	+	+	0,402
9	0	0	0	0	0,337
Коэффициент регрессии	0,074	0,0215	0,0348	0,0008	
Интервал варьирования факторов	5,235	0,1	0,5	0,01	
Шаг, соответствующий изменению X_1 на $1,0465c^{-1}$	1,0465	0,0058	0,047	0,00022	
Округленный шаг	1,05	0,01	0,05	0,002	
Опыты по программе крутого восхождения:					
1	14,65	0,49	0,95	0,008	0,329
2	13,60	0,48	0,90	0,006	0,326
3	12,55	0,47	0,85	0,004	0,368
4	11,50	0,46	0,80	0,002	0,374

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Таблица К.1

Матрица планирования второго порядка

№ п/п	Номер опыта	Факторы				Показатели оптимизации	
		$X_1,$ $\omega, \text{с}^{-1}$	$X_2,$ $D, \text{м}$	$X_3,$ $L, \text{м}$	$X_4,$ $h, \text{м}$	Эффективность очистки $Y1, \%$	Удельная энергоёмкость $Y2, \text{кВтч/т}$
1	5	-	-	0	0	78,519	0,226
2	22	+	-	0	0	83,617	0,320
3	17	-	+	0	0	80,036	0,291
4	26	+	+	0	0	86,160	0,402
5	4	0	0	-	-	81,371	0,304
6	9	0	0	+	-	87,562	0,321
7	14	0	0	-	+	84,635	0,311
8	21	0	0	+	+	84,836	0,337
9	24	0	0	0	0	86,636	0,326
10	3	-	0	0	-	82,909	0,220
11	20	+	0	0	-	84,511	0,388
12	18	-	0	0	+	83,389	0,282
13	2	+	0	0	+	86,517	0,399
14	6	0	-	-	0	86,036	0,218
15	1	0	+	-	0	84,345	0,283
16	19	0	-	+	0	87,562	0,297
17	12	0	+	+	0	87,777	0,347

18	16	0	0	0	0	86,239	0,329
19	27	-	0	-	0	79,977	0,140
20	15	+	0	-	0	83,178	0,306
21	11	-	0	+	0	80,409	0,234
22	13	+	0	+	0	84,160	0,529
23	10	0	-	0	-	85,258	0,303
24	23	0	+	0	-	85,603	0,313
25	7	0	-	0	+	85,451	0,316
26	8	0	+	0	+	85,707	0,340
27	25	0	0	0	0	86,545	0,338

Таблица К.2

Вспомогательная таблица для расчета дисперсии адекватности и критерия Фишера

№п/п	\hat{Y}_i	\check{Y}_i	$(\hat{Y}_i - \check{Y}_i)^2$	\hat{Y}_i	\check{Y}_i	$(\hat{Y}_i - \check{Y}_i)^2$
-	Y1 – показатель эффективности очистки, %			Y2 – уд. энергоемкость очистки, кВт-ч/т		
1	78,519	80,970	6,009	0,226	0,2055	0,00042
2	83,617	84,275	0,4325	0,320	0,3555	0,00126
3	80,036	80,988	0,9066	0,291	0,2464	0,00199
4	86,160	85,318	0,7082	0,402	0,4134	0,00013
5	81,371	82,568	1,4327	0,304	0,2627	0,00171
6	87,562	87,690	0,0164	0,321	0,3420	0,00044
7	84,635	86,116	2,1947	0,311	0,2809	0,00091

8	84,836	85,249	0,1704	0,337	0,3692	0,00104
10	82,909	81,294	2,6092	0,220	0,2241	0,00002
11	84,511	84,348	0,0266	0,388	0,4081	0,00041
12	83,389	81,084	5,3121	0,282	0,2723	0,00009
13	86,517	85,665	0,7267	0,399	0,4053	0,00004
14	86,036	84,344	2,8644	0,218	0,2211	0,00001
15	84,345	83,921	0,1794	0,283	0,2780	0,00002
16	87,562	85,518	4,1784	0,297	0,3124	0,00024
17	87,777	87,002	0,6011	0,347	0,3543	0,00005
19	79,977	79,525	0,2042	0,140	0,2127	0,00528
20	83,178	83,068	0,0122	0,306	0,3067	$4 \cdot 10^{-7}$
21	80,409	81,378	0,9380	0,234	0,232	$4 \cdot 10^{-6}$
22	84,160	85,469	1,7156	0,529	0,455	0,00548
23	85,258	85,369	0,0124	0,303	0,2848	0,00033
24	85,603	85,945	0,1167	0,313	0,3272	0,0002
25	85,451	85,967	0,2666	0,316	0,3005	0,00024
26	85,707	86,454	0,5575	0,340	0,3568	0,00028

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Расчет функции общей желательности исхода J в программе Statistica v.6.1

	Фактор	Е, %	Уэ, кВтч/т	П, %	Желат-ть, J	Доверит.интервалы Е, %		Доверит.интервалы Уэ,кВтч/т		Доверит.интервалы П, %	
						+95%	-95%	+95%	-95%	+95%	-95%
Частота вращения барабанов, с-1	10,46	80,44369	0,200178	7,559243	0,398566	78,76354	82,12383	0,159157	0,241199	6,189562	8,928925
Частота вращения барабанов, с-1	11,507	81,98065	0,218821	6,698033	0,534067	80,52683	83,43447	0,183325	0,254316	5,512854	7,883212
Частота вращения барабанов, с-1	12,554	83,26090	0,236843	5,979703	0,625629	81,87646	84,64533	0,203041	0,270644	4,851091	7,108314
Частота вращения барабанов, с-1	13,601	84,28442	0,254244	5,404252	0,687023	82,88231	85,68654	0,220011	0,288478	4,261226	6,547279
Частота вращения барабанов, с-1	14,648	85,05123	0,271025	4,971682	0,724551	83,61201	86,49046	0,235886	0,306164	3,798407	6,144958
Частота вращения барабанов, с-1	15,695	85,56133	0,287186	4,681992	0,741895	84,10567	87,01698	0,251645	0,322726	3,495318	5,868666
Частота вращения барабанов, с-1	16,742	85,81470	0,302725	4,535182	0,741457	84,37570	87,25370	0,267592	0,337859	3,362089	5,708275
Частота вращения барабанов, с-1	17,789	85,81136	0,317644	4,531252	0,724865	84,40964	87,21307	0,283421	0,351868	3,388554	5,673951
Частота вращения барабанов, с-1	18,836	85,55130	0,331943	4,670203	0,693188	84,16733	86,93526	0,298153	0,365733	3,541972	5,798434
Частота вращения барабанов, с-1	19,883	85,03452	0,345621	4,952033	0,646993	83,58103	86,48801	0,310133	0,381108	3,767125	6,136940
Частота вращения барабанов, с-1	20,93	84,26102	0,358678	5,376743	0,586272	82,58087	85,94117	0,317657	0,399699	4,007062	6,746425
Диаметр барабанов, м	0,4	85,51129	0,282355	4,733364	0,742436	83,91777	87,10481	0,243449	0,321262	3,434301	6,032428
Диаметр барабанов, м	0,42	85,69925	0,293754	4,603541	0,743783	84,24401	87,15450	0,258223	0,329284	3,417201	5,789881
Диаметр барабанов, м	0,44	85,85724	0,303715	4,512471	0,742913	84,39273	87,32176	0,267959	0,339472	3,318578	5,706364
Диаметр барабанов, м	0,46	85,98526	0,312240	4,460154	0,740173	84,45090	87,51962	0,274778	0,349702	3,209319	5,710990
Диаметр барабанов, м	0,48	86,08330	0,319329	4,446591	0,735849	84,48455	87,68205	0,280295	0,358363	3,143264	5,749918
Диаметр барабанов, м	0,5	86,15137	0,324980	4,471781	0,730168	84,52782	87,77493	0,285341	0,364620	3,148234	5,795328
Диаметр барабанов, м	0,52	86,18947	0,329195	4,535724	0,723289	84,59072	87,78822	0,290161	0,368229	3,232397	5,839051
Диаметр барабанов, м	0,54	86,19759	0,331974	4,638421	0,715292	84,66323	87,73195	0,294512	0,369436	3,387585	5,889257
Диаметр барабанов, м	0,56	86,17574	0,333315	4,779871	0,706173	84,71123	87,64026	0,297559	0,369072	3,585978	5,973764
Диаметр барабанов, м	0,58	86,12392	0,333220	4,960074	0,695832	84,66867	87,57917	0,297690	0,368751	3,773734	6,146414
Диаметр барабанов, м	0,6	86,042	0,331	5,179	0,684	84,44	87,63	0,292	0,370	3,879	6,4780

м		12	689	031	067	860	564	782	595	967	94
Длина барабанов, м	0,5	84,316 07	0,251 296	4,710 344	0,726 729	82,64 348	85,98 865	0,210 459	0,292 133	3,346 826	6,0738 62
Длина барабанов, м	0,6	84,853 72	0,267 449	4,649 196	0,736 765	83,38 418	86,32 325	0,231 570	0,303 328	3,451 207	5,8471 85
Длина барабанов, м	0,7	85,319 16	0,281 876	4,610 751	0,742 156	83,89 851	86,73 981	0,247 190	0,316 562	3,452 614	5,7688 88
Длина барабанов, м	0,8	85,712 40	0,294 576	4,595 009	0,743 790	84,26 069	87,16 412	0,259 132	0,330 020	3,411 549	5,7784 70
Длина барабанов, м	0,9	86,033 44	0,305 549	4,601 971	0,742 387	84,53 776	87,52 913	0,269 032	0,342 067	3,382 666	5,8212 76
Длина барабанов, м	1,0	86,282 28	0,314 796	4,631 636	0,738 533	84,76 803	87,79 652	0,277 825	0,351 767	3,397 198	5,8660 74
Длина барабанов, м	1,1	86,458 91	0,322 316	4,684 004	0,732 698	84,96 322	87,95 459	0,285 798	0,358 833	3,464 700	5,9033 09
Длина барабанов, м	1,2	86,563 34	0,328 109	4,759 076	0,725 240	85,11 162	88,01 505	0,292 665	0,363 553	3,575 616	5,9425 36
Длина барабанов, м	1,3	86,595 56	0,332 176	4,856 851	0,716 403	85,17 491	88,01 621	0,297 490	0,366 862	3,698 714	6,0149 88
Длина барабанов, м	1,4	86,555 58	0,334 516	4,977 329	0,706 315	85,08 605	88,02 512	0,298 637	0,370 395	3,779 340	6,1753 18
Длина барабанов, м	1,5	86,443 40	0,335 129	5,120 511	0,694 977	84,77 082	88,11 599	0,294 292	0,375 966	3,756 993	6,4840 29
Высота утолщений на дисках, м	0,0	85,173 02	0,280 679	6,201 565	0,649 712	83,51 019	86,83 584	0,240 081	0,321 278	4,846 003	7,5571 26
Высота утолщений на дисках, м	0,002	85,287 74	0,281 401	5,848 821	0,674 519	83,81 340	86,76 208	0,245 405	0,317 398	4,646 916	7,0507 26
Высота утолщений на дисках, м	0,004	85,389 26	0,282 466	5,538 791	0,694 970	83,95 096	86,82 756	0,247 349	0,317 583	4,366 266	6,7113 16
Высота утолщений на дисках, м	0,006	85,477 60	0,283 874	5,271 475	0,711 496	83,99 980	86,95 539	0,247 794	0,319 955	4,066 754	6,4761 95
Высота утолщений на дисках, м	0,008	85,552 74	0,285 626	5,046 871	0,724 405	84,02 662	87,07 885	0,248 365	0,322 887	3,802 757	6,2909 85
Высота утолщений на дисках, м	0,01	85,614 68	0,287 721	4,864 981	0,733 916	84,06 869	87,16 068	0,249 975	0,325 467	3,604 663	6,1252 99
Высота утолщений на дисках, м	0,012	85,663 44	0,290 159	4,725 805	0,740 192	84,13 732	87,18 955	0,252 899	0,327 420	3,481 690	5,9699 19
Высота утолщений на дисках, м	0,014	85,699 00	0,292 941	4,629 341	0,743 350	84,22 120	87,17 679	0,256 860	0,329 022	3,424 621	5,8340 62
Высота утолщений на дисках, м	0,016	85,721 36	0,296 066	4,575 591	0,743 474	84,28 306	87,15 966	0,260 949	0,331 183	3,403 066	5,7481 16
Высота утолщений на дисках, м	0,018	85,730 54	0,299 534	4,564 555	0,740 619	84,25 620	87,20 488	0,263 538	0,335 531	3,362 650	5,7664 60
Высота утолщений на дисках, м	0,02	85,726 52	0,303 346	4,596 231	0,734 817	84,06 369	87,38 934	0,262 748	0,343 944	3,240 669	5,9517 93

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Пример расчета параметров гофрощеточного очистителя кормовых корнеплодов

Исходные данные для расчета:

- требуемая производительность очистителя: 5т/ч;
- вид обрабатываемых корнеплодов: кормовая свекла ($d_{kc} = 0,1\text{м}$, $l_{kc} = 0,2\text{м}$, $m_{kc} = 1,4\text{кг}$).

Листинг расчета

1. Определяем диаметр гофрощеточных барабанов по формуле (4.9), примем количество слоев корнеплодов $n = 3 \dots 5$:

$$D = \frac{nd_k + 2\Delta h}{2 \sin \mu + 1} k = \frac{4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,1}{2 \sin 45 + 1} \cdot 1,6 = 0,398\text{м}$$

Принимаем $D = 0,42\text{м}$.

2. Определяем зазор между гофрощеточными барабанами и заслонкой:

$$c \leq \frac{d_{k \min}}{2} \leq \frac{0,05}{2} \leq 0,025\text{м}.$$

3. По зависимости (4.10) определяем диаметр опорных дисков, для этого примем $\varphi_k = 31^\circ$, $d_{kc} = 0,1\text{м}$, $h = 0,0151\text{м}$ и зазор между дисками соседних барабанов $c_d \leq d_{kc}/2 \leq 0,1/2 \leq 0,05\text{м}$:

$$d_d \leq \frac{\cos^2 37^\circ (0,1 + 0,0151) - 0,05}{1 - \cos^2 37^\circ} + \sqrt{\frac{[0,05 - \cos^2 37^\circ (0,1 + 0,0151)]^2 - (1 - \cos^2 37^\circ)(0,05^2 - 0,0151^2 - \cos^2 37^\circ (0,1^2 + 2 \cdot 0,1 \cdot 0,0151))}{1 - \cos^2 37^\circ}} = 0,334\text{м}.$$

Принимаем $d_d = 0,3\text{м}$.

4. Определяем шаг расположения опорных дисков по длине барабана согласно (4.11) при $R_k = 0,05\text{м}$:

$$t \leq \frac{1}{8}(2l_{kc} + 3R_k) \leq \frac{1}{8}(2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,05) \leq 0,069\text{м}$$

Принимаем $t = 0,07\text{м}$.

5. По зависимости (4.12) определяем высоту эллиптических утолщений на опорных дисках:

$$h = \sqrt{\cos^4 31^\circ (0,3 + 0,1)^2 - 0,3^2 (\cos^2 31^\circ - 1) - 0,1^2 \cos^2 31^\circ - 2 \cdot 0,3(0,1 \cdot \cos^2 31^\circ - 0,05) + 0,05^2} - \cos^2 31^\circ (0,3 + 0,1) = 0,01485\text{м}$$

Принимаем $h = 0,015\text{м}$.

6. Определяем длину гофрошечных барабанов согласно (4.13) при $\tau = 30\text{с}$:

$$L = \frac{0,278 \cdot 5 \cdot 30}{0,8 \cdot 0,3 \cdot 550 \left[2 \cdot 0,21^2 (2 \cdot 0,7071 + 2 \cdot 0,7071(0,7071 + 1) + 1) - \frac{3}{2} \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \right]} = 0,988\text{м}$$

Принимаем $L = 1,0\text{м}$.

7. Определяем угловую скорость вращения гофрошечных барабанов по формуле (4.14):

$$\omega = \frac{2,61}{0,21} \cdot 1,3 = 16,157\text{с}^{-1}$$

Принимаем $\omega = 16,2\text{с}^{-1}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Техническая характеристика моек – измельчителей корнеклубнеплодов

Показатели	ИКМ-5	ИКМ-5(М)	ИКМ-Ф-10	ИКУ-Ф-10	КПИ – 4	ИСК – 3
Производительность, т/ч	7	10	10	10	7	20
Размер частиц, мм	10	10	10	10	до 10	до 10
Установленная мощность, кВт	10,5	10,5	15,4	15,4	4,5	37
Вместимость бункера (ванны), м ³	0,7	0,7	0,7	0,7	0,04	0,4
Остаточная загрязненность, %	1,1	0,4	2	2	-	-
Расход воды, л/ч	170	150	100	100	-	-
Вместимость ванны для воды, м ³	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-
Габариты, мм :						
- длина	2200	2200	4290	4290	600	1750
- ширина	2100	2100	2240	2240	600	1130
высота	2510	2510	3000	3000	1100	1320
Масса, кг	950	940	1250	1250	350	1055
Обслуживающий персонал, чел	1	1	1	1	1	1