

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Саратовский государственный
агарный университет имени Н.И. Вавилова»

На правах рукописи



ОВЧИННИКОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАРАБАННОЙ
КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ ОБОСНОВАНИЕМ
КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор В.А. Мухин

Саратов 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1. Значение корнеклубнеплодов в кормлении сельскохозяйственных животных	11
1.2. Обзор исследований существующих средств механизации по мойке корнеклубнеплодов	15
1.2.1. Технологии и средства механизации приготовления корнеклубнеплодов.....	15
1.2.2. Машины для мойки корнеклубнеплодов.....	17
1.3. Классификация способов и технических средств мойки и очистки корнеклубнеплодов.....	38
1.4. Исследование поведения жидкости в частично заполненном горизонтально вращающемся барабане.....	44
1.5. Цель и задачи исследования	47
2. РАЗРАБОТКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БАРАБАННОЙ ГИДРОТУРБИННОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ.....	49
2.1. Направление совершенствования разработки корнеклубнемойки.....	49
2.2. Приборы определения физико-механических свойств корнеклубнеплодов.....	49
2.2.1. Многофункциональный прибор для замера параметров корнеклубнеплодов.....	49
2.2.2. Методика и результаты определения исходной и конечной загрязненности	54
2.2.3. Приборы и методика исследования плотности корнеклубнеплодов.....	58

2.2.4. Прибор и методика исследования коэффициентов трения корнеклубнеплодов по различным материалам в воде	62
2.3. Описание схемы устройства и рабочего процесса гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки.....	68
Выводы.....	70
3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА, КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАРАБАННОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ.....	72
3.1. Обоснование критериев эффективного использования энергетических потоков при подготовке корнеклубнеплодов	72
3.2. Потенциальная возможность теплонасыщения конечного продукта	77
3.3. Теоретическое обоснование параметров барабана гидротурбинной корнеклубнемойки.....	81
3.3.1. Производительность и выбор режима работы установки.....	81
3.3.2. Теоретическое обоснование динамики жидкости во вращающемся барабане корнеклубнемойки.....	93
3.4. Теоретическое обоснование рабочего процесса гидротурбинной корнеклубнемойки.....	100
3.4.1. Технологический цикл гидротурбинной корнеклубнемойки.....	100
3.4.2. Теоретическое обоснование скорости перемещения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки	106
3.4.3. Математическая модель движения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки	108
3.5. Определение мощности электропривода корнеклубнемойки	117
Выводы.....	119
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТУРБИНОЙ БАРАБАННОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ	121
4.1. Принятые определения и допуски.....	121

4.2. Описание экспериментальной установки и результаты ее исследования.....	123
4.2.1. Работа гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки	124
4.3. Методика экспериментального исследования гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки.....	125
4.4. Сравнительный анализ исследования гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки.....	128
Выводы.....	146
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ГИДРОТУРБИННОЙ БАРАБАННОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ	148
Выводы	164
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	166
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	169
ПРИЛОЖЕНИЯ	179

ВВЕДЕНИЕ

Для удовлетворения научно обоснованных запросов населения в продуктах питания и сырья для легкой промышленности необходимо увеличить прирост продукции животноводства на 120,2 % к 2020 г. по сравнению с 2012 г. [1].

Нормативами питания в России предусматривается, что белковая часть пищевого рациона должна составлять не менее 14-15 % его калорийности, из них 60 % – белок животного происхождения, основными источниками которого являются молоко и мясо сельскохозяйственных животных и птиц.

За последнее десятилетие условие ведения молочного скотоводства в России претерпели значительные изменения. Допущено снижение поголовья скота и производства молочной продукции. Отрасль работала и работает в условиях жесткой конкуренции со стороны резко возросшего импорта. Снижение объема производства молока отразилось на уровне потребления других продуктов питания. Годовое потребление молока на душу населения к настоящему времени составляет 58% от медицинской нормы (227 кг против 390 кг) [2, 3].

Рентабельность молока по России составляет 6,6 %. Спад производства молока и его убыточность [1, 2, 4] объясняются следующими причинами:

- резким диспаритетом цен на продукцию молочного скотоводства, материально-технические ресурсы, горюче-смазочные материалы, электроэнергию, сельскохозяйственную технику, комбикорма и т. д.;

- монополизацией закупочных цен;

- высоким уровнем технической изношенности оборудования на молочных фермах;

- снижением продуктивности коров по причине отсутствия или недостаточного введения в рацион молокогонных кормов, в частности корнеклубнеплодов.

Известно, что корма в себестоимости продукции животноводства, свиноводства и птицеводства занимают до 60-70 % от всех затрат [5, 6].

На центнер произведенной животноводческой продукции в России затрачивается в 1,5–2 раза больше кормовых единиц, чем на Западе, при традиционном составе рационов. Однако передовые хозяйства Саратовской области имеют экономические показатели не ниже западных [7]. В большинстве хозяйств произведённая продукция не может выступать конкурентоспособной как на внутреннем, так и на внешнем рынках, в то время как наука и практика доказали, что корнеклубнеплоды [6] являются самыми дешевыми и физиологически совместимыми с организмом животного кормами, а полученная от них продукция, соответственно – с организмом человека. Однако они имеют загрязненность до 20 %, и скармливать их в таком виде опасно для здоровья животных [5, 8, 9]. Поэтому корнеклубнеплоды перед скармливанием моют на специальных установках, которые морально и физически устарели или имеют высокую цену. В первую очередь это относится к корнеклубнемоечным машинам, применение которых существенно снижает эффект от скармливания корнеклубнеплодов.

Для производства конкурентоспособной продукции животноводства необходимо разработать ресурсосберегающие корнеклубнемоечные машины.

Следовательно, работа, направленная на увеличение производительности, улучшение качества, снижение удельных энергозатрат, материалоемкости, производственных площадей, а также снижение потребности в воде, является актуальной задачей.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июля 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы».

Степень разработанности темы. Работа барабанных корнеклубнемоек наиболее приемлема в кормоцехах на животноводческих фермах и при заготовке комбисилоса, так как не требует значительных изменений существующих технологических процессов, при этом сохраняются

традиционные средства загрузки исходного сырья, отвода готовой продукции и утилизации стоков.

В России и за рубежом для мойки корнеклубнеплодов, овощных и бахчевых культур разработана большая гамма конструкций барабанных, цилиндрических и других типов корнеклубнемоек. Разработанные, изготовленные и проверенные в эксплуатации на животноводческих фермах, эти машины не лишены недостатков. В их числе большие удельные производственные объемы, низкое качество конечного продукта, высокие удельные расходы воды, большие объемы грязесборников и дискомфортные условия труда, вызванные недостаточной изученностью физико-механических свойств корнеклубнеплодов в жидкой среде и интенсивности осцилляционного воздействия жидкой среды в режиме центрифугирования и т. д.

Использование гидротурбинной корнеклубнемойки в режиме центрифугирования предполагает: установку на рабочем барабане нагнетательных ковшей, секции удаления воды и загрязнителей с поверхности корнеклубнеплодов, исключаящей вынос моющей воды с конечным продуктом, сокращение времени пребывания их в жидкости в 3-5 раз, повышение производительности и снижение потерь.

Предлагаемая работа направлена на повышение производительности и качества очистки корнеклубнеплодов.

Цель работы: повышение производительности и качества мойки корнеклубнеплодов за счет совершенствования барабанной корнеклубнемойки.

Задачи исследования:

– разработать классификацию способов и средств очистки корнеклубнеплодов с определением их перспективного направления развития;

– разработать приборы для изучения физико-механических свойств корнеклубнеплодов и конструктивно-технологическую схему барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки;

– теоретически обосновать рабочий процесс, конструктивно-технологические и режимные параметры барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки;

– исследовать экспериментально влияние конструктивно-режимных параметров барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки на производительность и качественные показатели её работы;

– провести производственные испытания корнеклубнемойки и дать технико-экономическую оценку ее использования.

Объект исследования – технологический процесс мойки корнеклубнеплодов.

Предмет исследования – зависимости, характеризующие рабочий процесс мойки корнеклубнеплодов и закономерности изменения качественных показателей от режима работы.

Научная новизна работы заключается в разработке: классификации корнеклубнеплодных машин; технических решений гидротурбинной корнеклубнемойки, приборов для определения физико-механических свойств корнеклубнеплодов; получении теоретических и экспериментальных зависимостей для обоснования рабочего процесса и определения конструктивно-технологических и режимных параметров корнеклубнемойки.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит: в разработке функциональной модели основных материальных потоков в поточной технологической линии (ПТЛ) подготовки корнеклубнеплодов; получении аналитического выражения для определения производительности ПТЛ очистки корнеклубнеплодов; аналитических выражений для определения конструктивно-режимных параметров гидротурбинной корнеклубнемойки; разработке математической модели движения корнеклубнеплодов в гидротурбинной барабанной корнеклубнемойке, времени их обработки и производительности; разработке приборов для изучения физико-механических свойств корнеклубнеплодов (патент RU 117609 U1; RU 114146 U1), которые используются в учебном процессе студентами и аспирантами;

обосновании конструктивно-технологической схемы корнеклубнемойки (патент RU 70086 U1, RU 87151 U1). Опытный образец гидротурбинной корнеклубнемойки внедрен в ЗАО «Агрофирма «Волга» Марковского района Саратовской области. Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями при определении параметров корнеклубнемоёк на стадии проектирования.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследований составили методы системного анализа, математической статистики. Аналитическое описание технологических процессов выполнялось с использованием законов и методов классической механики, гидравлики и математического анализа. Исследования проводились с использованием известных и вновь разработанных приборов и методик. Обработка экспериментальных исследований осуществлялась на ПЭВМ с использованием программ Mathcad 12, КОМПАС 3D LT V12, Excel.

Положения, выносимые на защиту:

- классификация способов и средств очистки корнеклубнеплодов;
- конструктивно-технологические схемы приборов для определения физико-механических свойств корнеклубнеплодов (патент RU 117609 U1; RU 114146 U1) и барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки (патент RU 70086 U1, RU 87151 U1);
- аналитические выражения для определения основных конструктивно-технологических и режимных параметров барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки;
- математическая модель движения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки и времени их обработки;
- результаты экспериментальных исследований по определению конструктивно-технологических и режимных параметров установки и их сравнение с результатами теоретических исследований.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов исследования составляет 95–97 %. Основные научные

положения, выводы и практические рекомендации диссертации доложены и одобрены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» (Саратов, 2010–2013), Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию профессора В.Ф. Дубинина (Саратов, 2010); Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко (Саратов, 2011); Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.Г. Кобы (Саратов, 2011); научно-практической конференции – 2-й специализированной выставке «Саратов - АГРО – 2011» (Саратов, 2011); Международном научно-техническом семинаре имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2012); VI Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы» (Саратов, 2012); Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых вузов МСХ РФ, Башкирский ГАУ (Уфа, 2012); VII Всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы» (Саратов, 2013); Молодежном форуме Приволжского федерального округа «iВолга – 2013» (Самара, 2013). Международном научно-техническом семинаре имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2014).

По результатам исследований опубликовано 16 печатных работ, в т.ч 3 в рецензируемых научных изданиях; 4 патента на полезную модель РФ. Общий объем публикаций – 5,61 п. л., из которых 3,1 п. л. принадлежат лично соискателю. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы из 103 наименований, в т.ч. 8 на иностранных языках, 20 приложений. Диссертация изложена на 207 страницах, содержит 67 рисунков, 9 таблиц.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Значение корнеклубнеплодов в кормлении сельскохозяйственных животных

Проблемой подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию занимались ведущие ученые М.Н. Летошнев, В.Н. Синявский, Г.М. Кукта, Г.П. Юхин, А.А. Федоров, В.Ю. Фролов, Б.В. Кононов, А.И. Завражнов, Н.Р. Дервиш, А.М. Калимуллин, Ю.А. Дикарев, С.П. Зайцев, А.А. Катков, Л.П. Карташов, Н.Н. Колчин, В.М. Мартынов, С.А. Найданов, С.Е. Поздняков, Ч.С.Е. Арданов, М.К. Дусенов, и др.

Кормление животных – это процесс, в котором оператор доставляет им необходимые питательные вещества для обеспечения жизни, плодовитости и продуктивности [10, 11]. В понятие кормления включается: составление норм кормления и рационов, ряд организационных вопросов, включая соблюдение кормового баланса, распорядка работы на ферме, кратность кормления, подготовка кормов к скармливанию, их раздача и прочее [11, 12, 13].

Корнеплоды дают самую дешёвую кормовую единицу с производственных площадей [6]. Они характеризуются большим содержанием воды, достигающим 75-92 %, при количестве протеина 1-2 % и незначительном количестве жира и клетчатки [14, 15]. Основную массу сухого вещества корнеплодов составляют крахмал и сахар. Корнеплоды обладают ценным молокогонным свойством, благоприятно влияют на перевариваемость и усвояемость питательных веществ сухого корма в зимних рационах, богатых сухими белками и зольными элементами [11, 14, 15] (таблица 1.1).

Органические вещества корнеклубнеплодов перевариваются на 85–95%. Их скармливают крупному рогатому скоту в зимнее время [7], когда в рационе отсутствует зеленая трава, а также необходимое количество углеводов и витаминов в рационе животных, птиц и зверей.

Таблица 1.1 – Содержание питательных веществ в корнеклубнеплодах

Корма	В 1 кг корма содержится					
	кормовых единиц	перевариваемого протеина, г	сахара, г	кальция, г	фосфора, г	натрия, г
Кормовая свёкла	0,12-0,15	9	53	0,4	0,4	0,6
Сахарная свёкла	0,24-0,3	12-13	180	0,5	0,5	0,6
Картофель	0,31-0,33	14-16	8	0,2	0,9	0,2
Морковь	0,14-0,15	7-9	50	0,6	0,3	0,5
Топинамбур	0,22	15				0,6

В хозяйстве имеется 3000 коров с удоем более 6000 кг, а также свиньи, которые являются основными потребителями корнеклубнеплодов и бахчевых культур – дешевой растениеводческой продукции, позволяющей поддерживать рентабельность производства.

Чем выше продуктивность коров, тем больше требуется выдавать корнеклубнеплодов, например, при удое 4000 кг норма потребности на 1 корову составляет 1840 кг в год, а при удое 6000 кг – 3680 кг [14, 18, 19].

В сутки на одну корову можно скармливать от 10 до 30 кг кормовой и сахарной свёклы, в которой содержится в среднем 12–24 % сухого вещества, состоящего в основном из углеводов, среди которых преобладают сахар, пектиновые вещества и около 1,2% клетчатки. Корнеклубнеплоды повышают вкусовые качества остальных кормовых компонентов рациона, поэтому их рекомендуют выдавать в виде смесей с грубыми, концентрированными и минеральными составляющими рациона. Кормосмеси на 12-15 % лучше усваиваются, чем отдельно скормленные компоненты [3, 11, 21, 101].

Кормовые смеси должны иметь влажность 70-75 %. Содержание в них металлических примесей с размерами частиц до 2 мм в 1 кг не должно быть более 25 мг. В 1 кг сухих полнорационных кормовых смесей должно содержаться не менее 0,6 кг корм. ед. В кормовых смесях содержание клетчатки не должно превышать 20-22 % [6, 15, 16].

Влажные кормовые смеси с содержанием силоса, корнеклубнеплодов, бахчевых и других сочных кормов разрешается хранить на животноводческой ферме не более 0,5 ч. Максимальный срок хранения влажных кормосмесей при температуре 10–15 °С – до 5 ч после их приготовления.

Типовые фермы и комплексы среднего и большого размера имеют кормоцеха или кормокухни, на которых установлено технологическое оборудование для отделения механических примесей, мойки, измельчения, дозирования и смешивания, учитывая то, что после реорганизации собственности животноводческих ферм и уменьшения их размеров кормосмеси с содержанием корнеклубнеплодов практически перестали применять. Объясняется это морально и физически устаревшим оборудованием, повышающим себестоимость кормов. Поэтому ветеринарные и зоотехнические службы рекомендуют корнеклубнеплоды очищать (мыть) и выдавать в неизмельченном виде, объясняя это исключением потерь сока и мезги, которая может достигать более 3 % от исходной массы. Поэтому в современных технологических линиях подготовки кормов используются операции измельчения, запаривания или выдаются они в натуральном виде.

Рекомендуемое количество картофеля и корнеклубнеплодов на период доращивания одного поросенка соответственно составляет 90 и 120 кг, а откорма – 450 и 200 кг [6, 10, 15, 16].

На одну овцематку в зимний период выдают 3–4 кг корнеклубнеплодов в сутки, на козу – 2–4 кг или по 1–2 кг картофеля. Для взрослых кроликов – от 100 до 600 г моркови и от 100 до 200 г кормовой свёклы, от 100 до 600 г сахарной свёклы, от 50 до 250 г сырого картофеля. В суточный рацион гусей входят 0,1 кг картофеля, 0,1 кг моркови. Рабочим лошадям при выполнении работ средней тяжести выдают 0,5–0,7 кг моркови.

Однако производство корнеклубнеплодов на современных технологических линиях очень энергоемко и трудоемко. Для производства корнеклубнеплодов на ресурсосберегающей основе без затрат ручного труда

в 1973 г. ВИМ разработал комплект машин, однако он на сегодня практически не используется в силу ограниченности объемов производственных площадей в хозяйствах.

Из практики известно, что существующие технические средства по их мойке, очистке и измельчению корнеклубнеплодов требуют дорогих кормоцехов, сопровождающихся большими удельными затратами воды и средств на защиту окружающей среды. Загрязненность корнеклубнеплодов достигает 20%, что исключает применение инновационных, дешёвых, мобильных, универсальных измельчителей - смесителей-раздатчиков кормов типа «Колнаг» (Россия), «Хозяин» (Белоруссия), Seiko (Италия), Himmel (Германия), Lukas (Франция), Tatomá (Испания), Shelbourne (Англия) и др. [16, 17, 18, 19].

Результаты достижений в животноводстве передовых хозяйств Саратовской области показывают, что в области имеются высокопродуктивный скот и прогрессивные технологии производства необходимых объемов и качества молока и мяса. Опыт инновационных технологий с этих хозяйств следует перенимать, совершенствовать и распространять в другие хозяйства независимо от их размера и собственности. Однако для этого необходимо иметь лидера с инновационными технологиями и партнерскими взаимоотношениями [8, 18, 20].

Реализация этого мероприятия предусматривает увеличение объемов произведенной продукции, обеспечение населения страны конкурентоспособной продукцией питания животного происхождения за счет собственного производства [1, 17].

Планируемый рост экономической эффективности средств механизации в животноводстве позволит: снизить затраты кормов на 20–25 %; увеличить прирост продукции на 40-45 %, повысить производительность труда в 1,8–2,0 раза, уменьшить себестоимость продукции на 30–35 % и достичь приемлемого уровня рентабельности производства [1, 5, 17, 18].

Производственный опыт показывает, что роль агропромышленного комплекса в жизнеобеспечении страны постоянно повышается. Поэтому аграрная политика должна строиться, исходя из стратегических целей, направленных на рост производства конкурентоспособной валовой продукции животноводства.

Для достижения намеченных целей необходимо дополнительно выработать такие организационно-экономические условия, которые позволили бы сельскохозяйственным товаропроизводителям всех форм собственности вести рентабельное производство, и в первую очередь это относится к производству самых дешевых, физиологически востребованных кормов-корнеклубнеплодов, их подготовке, дозированию, смешиванию и нормированной раздаче [6, 10, 17, 18].

1.2 Обзор исследований существующих средств механизации мойки корнеклубнеплодов

Заготовка, приготовление и раздача кормов – важнейшая задача в животноводстве. На всех этапах решения этой задачи необходимо стремиться к уменьшению их потерь и улучшению физико-механического состава. Требования к приготовлению кормов в основном касаются степени их загрязненности, наличия вредных примесей и размеров измельчения [8, 10, 16, 19, 21].

Технология кормоприготовления, предусматривает выполнение всех операций с помощью машин, образующих единую технологическую линию. Все машины и механизмы должны быть согласованы по назначению и производительности, чтоб обеспечить непрерывность и качество процесса.

1.2.1 Технологии и средства механизации приготовления корнеклубнеплодов

Технологические схемы машин для приготовления корнеклубнеплодов предусматривают выполнение двух и более операций: очистка – мойка –

измельчение; измельчение – запаривание – смешивание; запаривание – смешивание – дозирование и т. д.

К технологии и машинам для приготовления корнеклубнеплодов к скармливанию животным предъявляются следующие требования [8, 19, 21]:

1. Воздействие рабочих частей машин не должно вызывать порчу и потерю массы корнеклубнеплодов;

2. Мойка корнеклубнеплодов должна обеспечить полное удаление земли. Остаточная загрязненность не должна быть более 2–3 % [8, 10, 19, 22];

3. Машины должны обеспечивать мойку, измельчение и запаривание корнеклубнеплодов за 1–3 ч во избежание почернения, замораживания и потери свежести. Процесс мойки не должен быть длительным [19, 23, 24];

4. Универсальность в отношении обработки различных видов и сортов корнеклубнеплодов [8, 19, 23];

5. Высокое качество мойки и измельчение продуктов при относительно малом расходе воды и энергии [19, 23, 25];

6. Возможность регулировки времени пребывания продуктов в воде в зависимости от степени загрязненности [21, 23];

7. Удобство очистки и удаления грязи и грязной воды [23, 25];

8. Возможность максимальной степени механизации и автоматизации загрузки и выгрузки продукта [5, 17];

9. Хороший доступ к рабочим органам машины для быстрой регулировки и замены поврежденных частей [5];

10. Малые габаритные размеры, простота устройства, надежность в эксплуатации, долговечность работы [5, 17, 18, 19].

Для приготовления корнеклубнеплодов к скармливанию применяют корнеклубнемойки, корнерезки, измельчители, запарники-смесители, варочные котлы, котлы-парообразователи и другие машины.

Корнеклубнеплоды обычно загрязнены землей, песком, посторонними примесями (камни, куски дерева, металл, стекло и др.), поэтому перед скармливанием животным их необходимо очищать, мыть и т. д.

Первоначальная загрязненность корнеклубнеплодов после уборки может достигать 12–20 % по массе [8, 16, 19-22].

Качество продукта, поступающего для мойки и измельчения, характеризуется степенью загрязненности $\delta_{исх}$, а характеристика работы моек – остаточной загрязненностью $\delta_{ост}$ [21]. Оба эти показателя определяют опытным путем и выражаются в % зависимостями:

$$\delta_{исх} = \frac{P_1 - P_3}{P_3} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

$$\delta_{ост} = \frac{P_2 - P_3}{P_3} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где P_1 – масса порций корнеклубнеплодов до мойки, кг;

P_2 – масса порций корнеклубнеплодов после мойки, кг;

P_3 – масса порций совершенно чистых, отмытых вручную корнеклубнеплодов, кг.

Вновь созданная машина, независимо от уровня P_1 , должна обеспечить зоотехнически установленную $\delta_{ост}$.

1.2.2 Машины для мойки корнеклубнеплодов

Машины для мойки корнеклубнеплодов размещаются в специальных помещениях или на площадках для заготовки комбисилоса и т. д.

Корнеклубнемоечные машины по типу технологического процесса предполагают сухую очистку и жидкостную. Сухая очистка в основном применяется в поле и в незначительном количестве в кормоцехах. Преимуществом сухой очистки является то, что она позволяет возвращать в поле вывезенную с корнеклубнеплодами почву. Однако ограниченное ее применение объясняется выделением большого количества пыли в окружающую среду, вызывающей легочное заболевание оператора и быстрый износ машин.

По конструкции рабочих органов машины для жидкостной очистки (рисунок 1.1) делят на дисковые, шнековые, кулачковые и барабанные [8, 21, 22].

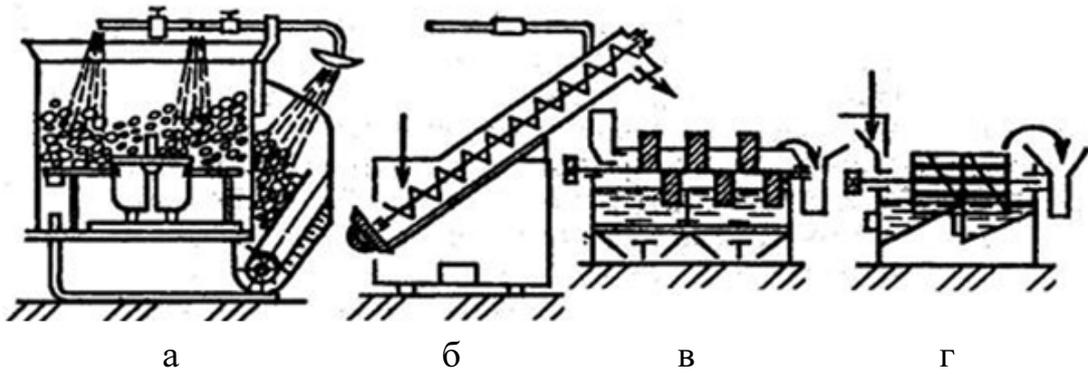


Рисунок 1.1 – Схемы типичных корнеклубнемоек

а – дисковая; б – шнековая; в – кулачковая; г – барабанная

Дисковые корнеклубнемоечные машины (рисунок 1.2) применяются в кормоцехах для мойки и измельчения корнеклубнеплодов [8, 19, 22].

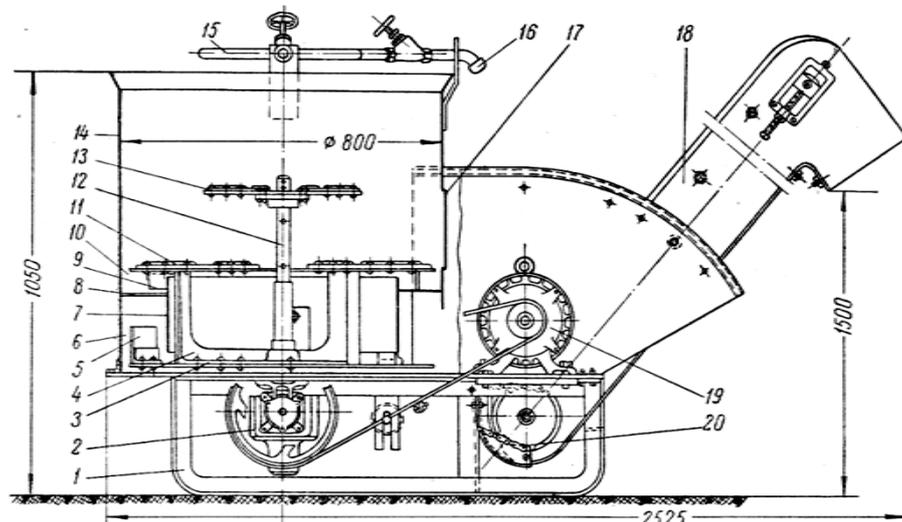


Рисунок 1.2 – Схема дисковой корнемойки-корнерезки

1 – рама; 2 – кожух шестерен; 3 – нижний выбрасывающий диск; 4 – крылач; 5 – лопасть нижнего диска; 6 – кольцевая камера сбора резаного продукта; 7 – внутренний цилиндр с ножами; 8 – кольцевое днище рабочего цилиндра; 9 – скребок нижнего моечного диска; 10 – грязевая кольцевая камера; 11 – нижний моечный диск с отверстиями; 12 – вал; 13 – верхний моечный диск; 14 – корпус рабочего цилиндра; 15 – кольцевой трубопровод; 16 – патрубок; 17 – задвижка верхнего выпускного люка; 18 – цепочно-скребковый транспортер; 19 – электродвигатель; 20 – приводная цепь транспортера

Они представляют собой универсальные машины центробежного типа, непрерывного действия для мойки и резки корнеклубнеплодов и передачи их в транспортные средства. Основными узлами данного типа машин являются: рама 1, на которой установлен рабочий цилиндр 14, выполненный из

листовой стали. Цилиндр снабжен плоским глухим днищем, в нижней части которого предусмотрено второе кольцевое днище 8 с внутренним цилиндром 7. На стенке внутреннего цилиндра сделаны вертикальные вырезы и возле них укреплены два неподвижных ножа со сплошными лезвиями.

Внутри рабочего цилиндра на вертикальном вращающемся валу 12 наглухо закреплен трехлопастный крылач 4, оборудованный тремя горизонтальными дисками. Нижний диск 3 имеет лопасть 5 и служит для выбрасывания резаного продукта, а верхние два диска 11 и 13 являются моечными. Диск 11 сделан кольцевым с центральным отверстием и укреплен к верхним концам лопастей крылача 4. На его поверхности имеются отверстия для прохода грязной воды. Диск 13 укреплен на валу поперечной шпилькой и может быть установлен на разной высоте.

На обоих моечных дисках укреплены радиальные ребра с круглыми краями.

Вал, крылач и диски приводятся во вращение с 147 мин^{-1} посредством приводного ремня и двух конических шестерен закрытых кожухом 2. Для передачи готового продукта машина оборудована наклонным цепочно-скребковым транспортером 18.

Внутри рабочего цилиндра вода подводится сверху кольцевым трубопроводом 15 с рядом отверстий.

При использовании машины как корнемойки необходимо опустить верхний моечный диск 13 в нижнее крайнее положение и закрепить его шпилькой на валу, затем открыть задвижку 17 верхнего выпускного люка и рычагом вывести заслонку наружу, пустить машину в ход и открыть подачу воды.

Корнеклубнеплоды непрерывно загружаются внутрь цилиндра, обмываются струями воды и, находясь на поверхности вращающихся моечных дисков, увлекаются ими, и приобретают вращательные движения, отбрасываются центробежной силой к стенкам цилиндра, интенсивно перемешиваются и перетираются.

Вымытый продукт непрерывно выбрасывается через выпускной люк и поступает на транспортер. При необходимости продукт в момент выхода можно ополаскивать струей воды из патрубка 16.

Вода и отмытая грязь поступают на моечные диски, отбрасываются под действием центробежной силы к периферии и проходят через отверстия в диске в кольцевой канал 10, откуда они скребком 9 выбрасываются по грязевому лотку наружу.

При использовании машины для одновременной мойки и резки продукта вымытые корнеплоды через отверстия верхнего диска передают на измельчение.

Качество мойки корнеклубнеплодов задается продолжительностью обработки порции, количеством подаваемой воды.

Производительность моечной машины центробежного типа определяется по формуле [22, 25]

$$Q = \frac{V_M \rho \varphi_3}{t}, \quad (1.3)$$

где V_M – объем моечного цилиндра, м³; $\varphi_3 = 0,3 - 0,4$ – коэффициент заполнения цилиндра корнеклубнеплодами; $t = 60 - 90$ с – время их пребывания в машине.

Объем цилиндра выражается уравнением

$$V_M = 0,25\pi D^2 H_M, \quad (1.4)$$

где D – диаметр цилиндра, м; H_M – высота цилиндра, м.

Обычно при проектировании принимают $H_M = (0,85 - 0,95)D$. Тогда

$$V_M = \frac{0,9\pi D^3}{4}. \quad (1.5)$$

Подставив значения V_M в формулу для определения производительности, вычисляют диаметр моечного цилиндра

$$D = 1,12 \sqrt[3]{\frac{Qt}{\rho \varphi_3}}. \quad (1.6)$$

Диаметр большого моечного диска принимают меньше диаметра цилиндра на 10–15 мм, а диаметр малого моечного диска принимают с учетом

возможности свободного прохода через кольцевой зазор в камеру резания наиболее крупных корнеклубнеплодов, т. е. 300–400 мм.

Технология работы центробежной моечной машины состоит в том, что корнеклубнеплоды постоянно перемещаются от центра к периферии и, перетираясь, освобождаются от налипшей на них грязи.

Таким образом, минимальная частота вращения моющего диска должна быть такой, чтобы возникающая центробежная сила была способна преодолеть силу трения, препятствующую перемещению корнеклубнеплодов. Это обеспечивается при условии

$$fmg \leq m\omega^2 r, \quad (1.7)$$

где f – коэффициент трения; m – масса корнеплодов, расположенных на диске, кг; g – ускорение силы тяжести, м/с²; ω – угловая скорость моечного диска, рад/с; r – минимальный радиус, приблизительно равный половине среднего размера корнеклубнеплодов, м.

Из приведенного неравенства сил следует, что минимальный показатель кинематического режима должен быть больше коэффициента трения:

$$k = \frac{\omega^2 r}{g} \geq f. \quad (1.8)$$

При этом минимальная угловая скорость моечного диска

$$\omega_{min} = \sqrt{\frac{fg}{r}}. \quad (1.9)$$

Мощность, необходимую для привода мойки корнеклубнеплодов [22, 25] рекомендуется определять по приближенной формуле В.Н. Синявского

$$N_M = 3,3QtfD\omega k_B, \quad (1.10)$$

где $k_B = 0,3–0,4$ — опытный коэффициент, учитывающий вращательное движение корнеклубнеплодов.

Основными недостатками этой машины является субъективная оценка качества вымытых корнеклубнеплодов, их повреждение, высокий удельный расход воды, избыточное попадание воды в измельчаемый конечный продукт, невозможность отделения механических примесей в виде камней из

обрабатываемого материала, которые могут вывести машину из строя, а также относительно высокая материалоемкость.

Шнековые корнеклубнемойки нашли широкое применение в кормоцехах. Они используются для очистки от камней, мойки и измельчения корнеклубнеплодов, устанавливаются в поточных технологических линиях животноводческих ферм или используются как отдельный агрегат [8, 21, 23, 26]. Данный тип измельчителя представляет камнеотделитель ИКМ-Ф-10 (рисунок 1.3).

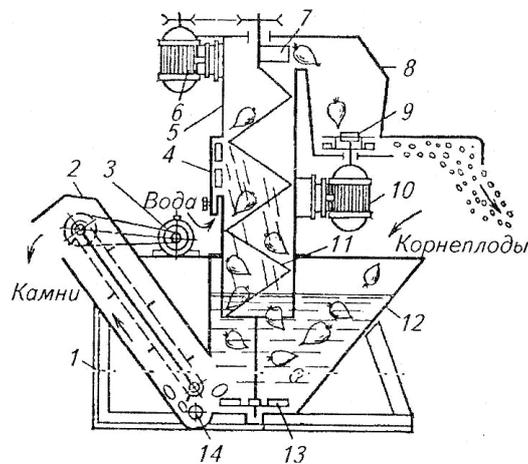


Рисунок 1.3 – Схема технологического процесса измельчителя-камнеотделителя ИКМ-Ф-10

1 – рама; 2 – транспортер – камнеудалитель; 3, 6 и 10 – электродвигатели; 4 – коллектор подвода воды; 5 – кожух; 7 – выбрасыватель; 8 – корпус измельчителя; 9 – измельчитель; 11 – шнек; 12 – моечная ванна; 13 – крылач; 14 – люк

Измельчитель ИКМ-Ф-10 имеет три рабочих органа: моечный шнек 11 диаметром 400 мм; измельчающий аппарат 9; транспортер 2 для вывода камней и других механических примесей. Технологический процесс машины осуществляется следующим образом. Ванна 12 заполняется водой до уровня, который поддерживается сливным патрубком на кожухе выгрузного транспортера. Корнеплоды падают в моечную ванну, где они отмываются от земли вихревыми потоками воды, создаваемыми крылачом 13 и освобождаются от камней, которые попадают в окно выгрузного транспортера 2. Далее корнеклубнеплоды поступают на шнек 11 и вторично

отмываются от грязи встречным потоком воды, а затем по направляющему корпусу 8 отбрасываются в измельчитель 9.

Производительность шнековой мойки рассчитывается по следующей методике: для моек непрерывного действия общее время пребывания корнеклубнеплодов в воде должно быть 60–120 с. Оно складывается из двух составляющих: времени отмокания (пребывания в загрузочной ванне) 60–90 с и времени мойки (пребывание в желобе шнека) 30–40 с.

Расход воды составляет 250–300 л на 1000 кг корнеклубнеплодов.

Производительность шнековой моечной машины определяется из условия, что через поперечное сечение площадью $0,25\pi(D^2 - d^2)$ шнека длиной, равной одному шагу S , за 1 с пройдет порция корнеклубнеплодов массой M [8]

$$M = 0.25\pi(D^2 - d^2)S\rho\omega/(2\pi). \quad (1.11)$$

Тогда производительность Q , кг/с, моечной машины составит [8, 34]

$$Q = 0,125(D^2 - d^2)S\rho\omega\varphi \text{ или } Q = M\varphi_3\varphi_n, \quad (1.12)$$

где D – диаметр шнека, м (принимаем $D = 300\text{--}400$ мм);

d – диаметр вала шнека, м, который выбирают из соотношения $D=(4\text{--}6)d$;

ρ – объемная масса продукта, кг/м³;

$\varphi_3 = 0,25\text{--}0,35$ – коэффициент заполнения рабочего пространства шнека;

φ_n – коэффициент, учитывающий наклон шнека ($\varphi_n = 0,45 - 1$ при угле $20 - 90^\circ$);

φ – коэффициент, учитывающий уменьшение площади поперечного сечения продукта вследствие наклона шнека.

Так как $S = \pi D t g \alpha$, то угол α подъема винтовой линии шнека должен находиться в пределах $10 - 20^\circ$.

Длина шнека L определяется с учетом времени t_m мойки материала

$$L = \frac{st_m\omega}{2\pi}. \quad (1.13)$$

Недостатком шнековых моек является то, что они могут пропускать корнеплоды не крупнее 150 мм в диаметре. При степени загрязненности

корнеклубнеплодов 6 – 7% длина шнека должна быть 2,5 – 3,0 м, а при загрязненности 20% длина шнека составит 6 м. Данное условие делает конструкцию корнеклубнемойки невыполнимой или требует последовательной установки двух, трех и более машин.

Кулачковые корнеклубнемойки (рисунок 1.4) представляют стационарную установку, состоящую из одной или двух ванн, разделенных перегородками 1 [21].

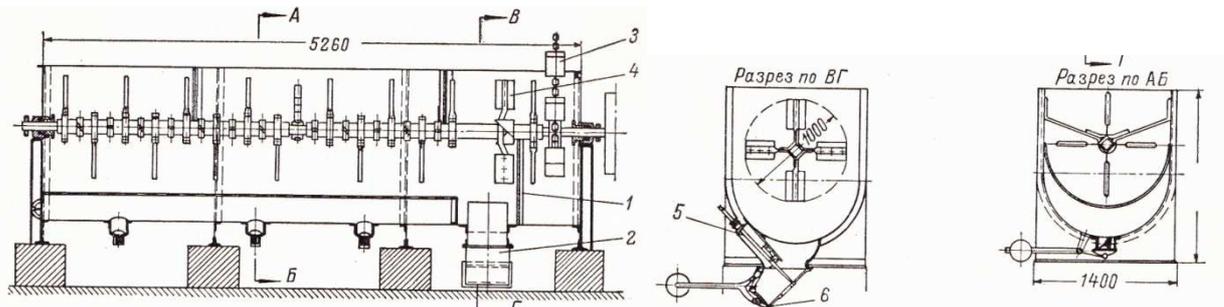


Рисунок 1.4 – Схема кулачковой корнеклубнемойки с металлической односекционной ванной и камнеловушкой

1 – перегородка; 2 – камнеловушка; 3 – ковшовый транспортер; 4 – выбрасывающие черпаки; 5 – задвижка; 6 – люк для выгрузки камней

Дно ванн делается наклонным для стока грязной воды и улавливания механических примесей в камнеловушку 2. Вымытые корнеплоды удаляются ковшовым транспортером 3, а из секции в секцию – выбросными черпаками 4. Грязь удаляется из камнеловушки 2 через задвижку 5 и люк для выгрузки камней 6. В каждой ванне в нижней части делается решетка, образующая корыто. Поверх ванн в подшипниках устанавливается вал с кулачками или штифтами.

Рабочий процесс кулачковых моек заключается в следующем. Корнеклубнеплоды загружаются непрерывным потоком с одной стороны ванны, наполненную водой, подвергаются интенсивному воздействию вращающихся кулачков. При этом они трутся друг о друга, решетку и кулачки, омываются водой и постепенно перемещаются вдоль ванны. Дойдя до поперечной стенки ванны, они вычерпываются вращающимися черпаками 4 в соседнюю ванну, где процесс повторяется.

Перемещение продукта вдоль секции ванн достигается расположением кулачков на валу по винтовой линии или наклонным положением рабочей поверхности. Вода в таких ваннах подается постоянно со стороны выхода продукта, постепенно перетекает из одной ванны в другую.

Грязь периодически удаляется через люки. Кулачковый вал вращается с частотой $20 - 25 \text{ мин}^{-1}$.

Производительность кулачковой мойки Q определяется по формуле [25]

$$Q = 60 n g, Q = 60 n \sum v \beta \rho, \quad (1.14)$$

где n – частота вращения барабана в минуту, мин^{-1} ;

g – масса m порции продукта, выбрасываемой черпаком (черпаками) за один оборот барабана, кг;

$\sum v$ – сумма объемов выбрасываемых продуктов черпаками, м^3 ;

β – коэффициент наполнения черпаков, равный для картофеля $0,8 - 0,9$ и для корнеплодов $0,7 - 0,8$;

ρ – объемная масса продукта, т/м^3 .

Время t обработки продукта в них составляет $4 - 5$ мин.

Объем моечного корыта V_1 определяется по формуле

$$V_1 = \frac{Q_1 t}{\rho}, \quad (1.15)$$

где V_1 – объем, занятый продуктом, м^3 ,

$$V_1 = F' L = \frac{\pi R^2}{2} \alpha L, \quad (1.16)$$

где F' – площадь сечения слоя продукта в корыте, м^2 ;

L – общая длина секций, м;

R – радиус корыта (решетки), м;

$\alpha = 0,75 - 0,80$ – степень заполнения корыта продуктом.

Общая длина корыта L равна

$$L = \frac{V_1}{\left(\frac{\pi R^2}{2}\right) \alpha} = \frac{V_1}{F'}. \quad (1.17)$$

При заданном радиусе корыта равном $0,6 - 1,0$ м и найденной длине L все другие размеры кулачковой мойки подбирают конструктивно.

Недостатками таких моек являются: повышенное повреждение корнеклубнеплодов, минимальная частота вращения кулачкового вала, большие удельные объемы мойки, приходящиеся на единицу продукта, повышенная загрязненность рабочих мест вычерпываемой водой.

Барабанные корнеклубнемойки непрерывного действия получили наибольшее применение. Они различаются по габаритным размерам, общей конструкции, числу секций (на одно - и двухкамерные).

Типичной барабанной установкой (рисунок 1.5) является двухкамерная корнеклубнемойка непрерывного действия.

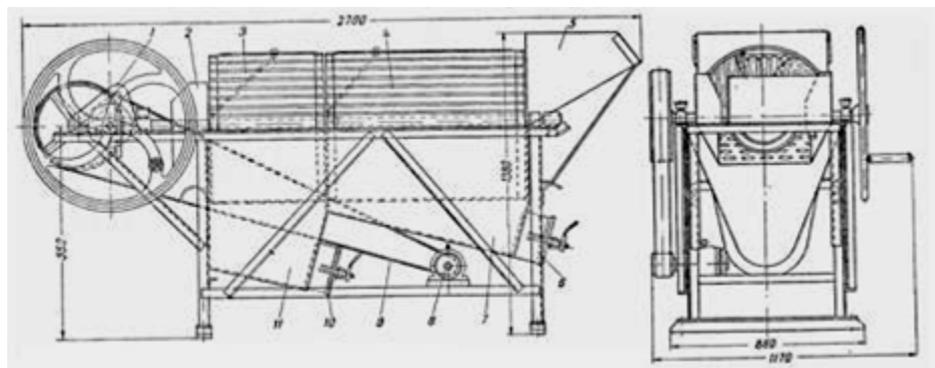


Рисунок 1.5 – Схема барабанной двухкамерной корнеклубнемойки
 1 – кожух передаточного механизма; 2 – выпускной лоток; 3 и 4 – моечные барабаны; 5 – загрузочный лоток; 6 и 10 – грязевые люки; 7 и 11 – корыта для воды; 8 – электродвигатель; 9 – приводной ремень

Она состоит из рамы, корыт 7 и 11 для воды, моечных барабанов 3 и 4, загрузочного 5 и выпускного 2 лотков, электродвигателя 8 и передаточного механизма 1. Рама сварная из уголков. Корыта для воды выполнены из листовой стали и подвешены к верхним продольным брускам рамы. Днищам придан уклон по длине в сторону загрузочного лотка и в нижней части торцевых стенок устроены грязевые люки 6 и 10.

Моечные барабаны с внутренним диаметром 600 мм и длиной 900 и 500 мм собраны из металлических планок сечением 2×30 мм и укреплены крестовинами на общем валу. Планки изогнуты в виде уголков и расположены полками внутрь барабанов, что делает внутреннюю поверхность рифленой. Между планками предусмотрены зазоры шириной 15 мм для прохода грязи и песка. Внутри каждого барабана у выхода закреплено

по одному черпаку, служащему для зачерпывания, подъема и выбрасывания продукта из барабана, вращающегося с частотой $16 - 20 \text{ мин}^{-1}$.

Рабочий процесс корнеклубнемойки МП-2,5 [22, 25]. Оба корыта заполняют водой и, пустив машину в ход, непрерывно загружают продуктом через загрузочный лоток. Подачу продукта ведут из расчета, чтобы при установившемся рабочем процессе внутри моечных барабанов находился слой продукта толщиной не более $1/3$ диаметра барабана. Вращением барабана корнеклубнеплоды под действием силы трения поднимаются вверх, перемешиваются и трутся друг о друга и о планки барабанов. Грязь отмывается и оседает через просветы между планками на дно корыт. Пройдя первый барабан, корнеклубнеплоды перегружаются во второй. Здесь процесс повторяется, и вымытый продукт вычерпывается черпаками из барабана в выпускной лоток. Накопившаяся на дне корыта грязь вместе с грязной водой выпускается через люки в канализацию, а корыта наполняются вновь чистой водой. Частота слива воды зависит от степени загрязненности продукта.

Недостатками этой машины являются большое повреждение корнеклубнеплодов о края металлических планок, расположенных параллельно к образующей цилиндра и вычерпывающие ковши, низкий коэффициент загрузки барабана и большой расход воды.

Наиболее простой и менее габаритной машиной (рисунок 1.6) является корнеклубнемойка типа МП-2 [25].

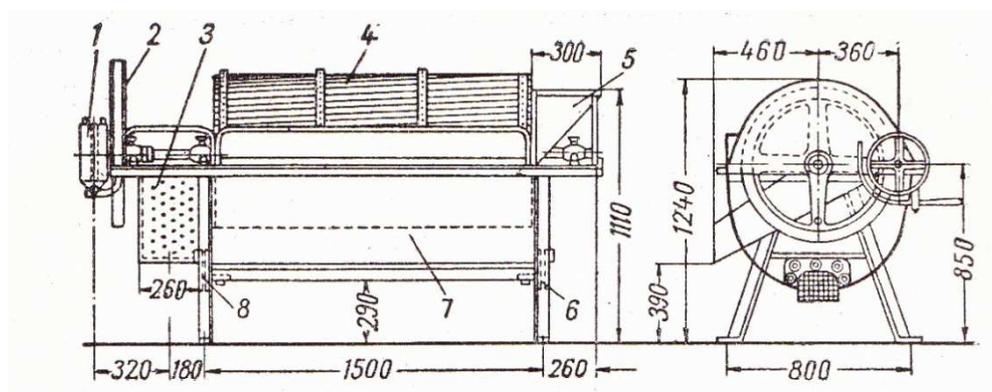


Рисунок 1.6 – Схема барабанной корнеклубнемойки непрерывного действия

1 – рабочий и холостой шкивы; 2 – передаточный механизм; 3 – выпускной лоток; 4 – моечный барабан; 5 – загрузочный лоток; 6, 8 – грязевые люки; 7 – корыто для воды

Она имеет один моечный барабан 4 длиной 1400 мм с внутренним диаметром 670 мм. Рабочая поверхность барабана собрана из деревянных планок, расположенных под углом 7° к образующим цилиндра, что обеспечивает в процессе работы более интенсивное продвижение продукта вдоль барабана. Внутри барабана укреплены четыре деревянные лопасти с возможностью изменения угла наклона их оси относительно барабана. Углом установки лопастей задают скорость движения продукта вдоль барабана и соответственно время нахождения корнеклубнеплодов в воде, и качество обработки. Корыто 8 для воды подвешено к раме в виде полуцилиндра с закрытыми торцами, в которых установлены грязевые люки 6 и 7.

Для уменьшения расхода воды и утилизации грязи в Чехословакии [25] разработана барабанная мойка ПБ-1500 (рисунок 1.7).

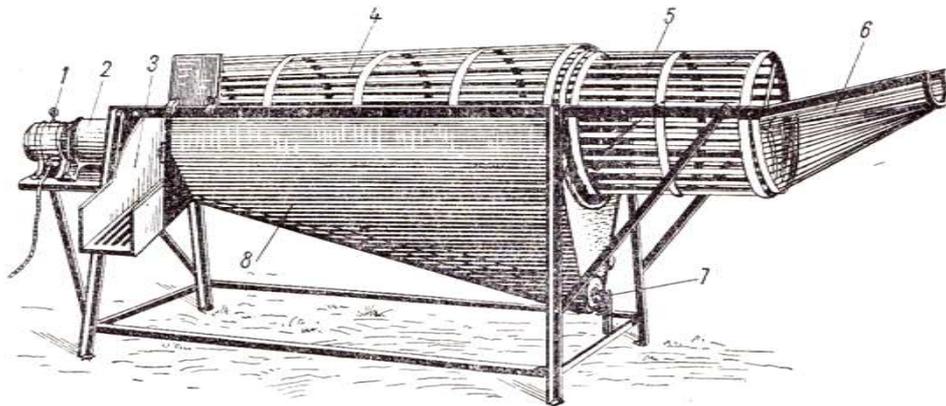


Рисунок 1.7 – Барабанная однокамерная корнеклубнемойка ПБ-1500

1 – электродвигатель; 2 – червячный редуктор; 3 – выпускной лоток; 4 – моечный барабан; 5 – барабан для сухой очистки продукта; 6 – загрузочный лоток из металлических прутьев; 7 – грязевой люк; 8 – корыто для воды

Она имеет два решетчатых барабана, закрепленных на общем валу. Один из них длиной 600 мм и диаметром 475 мм служит для предварительной сухой очистки продуктов, а второй длиной 1480 мм и диаметром 550 мм расположен над корытом для воды и является моечным. В первом барабане отделяется 40 – 50 % всех загрязнений, которые просеиваются под машину.

Сухая очистка сокращает расход воды, повышает качество мойки и упрощает работу по сбору и удалению грязи из отстойников.

Работа барабанной корнеклубнемойки (рисунок 1.8). Слой корнеклубнеплодов под действием сил трения о стенки барабана поднимается до верхней точки А, затем скатывается до точки В по корнеклубнеплодам. Нижний слой продукта при своем движении вверх увлекает за собой второй слой, третий и т.д. Таким образом, основная масса продукта собирается в первом квадранте барабана по ходу движения и движется вокруг некоторой горизонтальной оси, находящейся внутри слоя корнеклубнеплодов. Кинематический процесс перемещения продукта в воде и в воздухе обеспечивает соответствующую очистку.

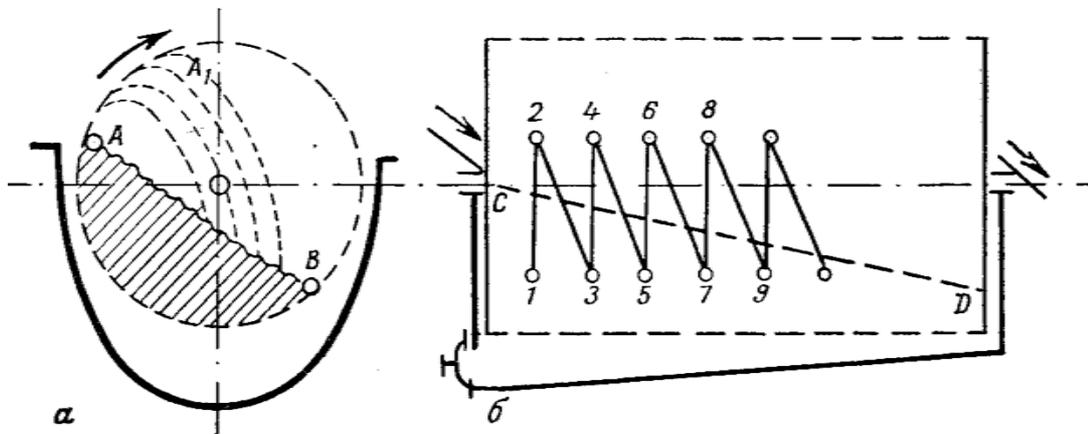


Рисунок 1.8 – Схема перемещения продукта внутри барабана

а – схема траектории перемещения продукта в поперечном сечении барабана;

б – схема траектории перемещения продукта в продольном сечении барабана

Для получения хорошего процесса мойки корнеклубнеплодов с диаметром барабана 0,55 – 0,70 м необходима окружная скорость барабана в пределах 0,8 – 1,1 м/с. Увеличение скорости барабана ухудшает процесс отмыwania грязи, потому что корнеклубнеплоды увлекаются на большую высоту до точки А, выводятся над уровнем воды и отрываются от стенки, получают параболическое движение, в воздухе завершая путь новым контактом с ворохом. Дальнейшее увеличение скорости барабана нарушает процесс движения корнеклубнеплодов благодаря действию увеличивающихся центробежных сил, прижимающих корнеклубнеплоды к поверхности барабана, и они безотрывно вращаются вместе с ним.

Увеличение окружной скорости свыше 1,0 – 1,2 м/с недопустимо по причине образования разбрызгивающих струй воды, что делает неработоспособной данную модель машины. Оптимальная частота вращения n барабана выбирается в зависимости от его диаметра и размеров частиц обрабатываемого продукта по формуле [25]

$$n = \frac{K}{\sqrt{R-r}}, \quad (1.18)$$

где K – опытный коэффициент, учитывающий размеры корнеклубнеплодов и явления трения, равный 20 – 22;

R – радиус барабана, м;

r – радиус частиц обрабатываемого продукта, м.

Время обработки продукта t зависит от длины барабана и скорости перемещения продукта в нем.

При горизонтальном положении барабана и отсутствии устройств для осевого перемещения продукта он перемещается благодаря разности высот h слоев у входа и выхода по линии CD . Частицы внутри барабана проходят отрезки пути 1-2, 3-4, 5-6 и т. д. в силу трения о барабан, а наклонные отрезки 2-3, 4-5, 6-7 и т.д. соответственно при скатывании корнеплодов сверху вниз под углом естественного откоса φ (динамический угол внутреннего трения).

За каждый цикл движения частицы от подъема до опускания она проходит некоторый участок длины барабана. Величина этого участка определяет скорость осевого перемещения продукта и зависит от толщины слоя h , угла естественного откоса φ и угловой скорости барабана ω .

Скорость осевого перемещения v_{oc} продукта определяют по формуле М.Н. Летошнева

$$v_{oc} = \frac{\omega h}{tg\varphi} \sin\sqrt{1 - tg^2\varphi}, \quad (1.19)$$

где ω – угловая скорость нижнего ряда продукта, рад/с;

h – средняя толщина слоя продукта в барабане, м;

φ – угол естественного откоса продукта, град.

В барабанных мойках $v_{oc} = 0,008 - 0,012$ м/с, а время обработки продукта находится в пределах $t = 2 - 3$ мин.

Степень заполнения барабана принимается 20 – 30% его объема. При большей степени заполнения затрудняется проход отмытой грязи, а при меньшей снижается взаимное трение слоев друг о друга.

Наилучшая степень отмывания грязи достигается при уровне воды в ванне, равном уровню слоя продукта или несколько больше. Значительное превышение уровня воды снижает степень отмывания грязи, так как при этом частицы продукта находятся во взвешенном состоянии и с меньшей силой перетираются друг о друга. С повышением уровня воды возрастает расход мощности на привод барабана.

Производительность барабанной корнеклубномойки Q непрерывного действия определяется по известной формуле [25]

$$Q = 60ng, \quad (1.20)$$

где n – частота вращения барабана, мин⁻¹;

g – масса продукта выбрасываемого черпаком за один оборот, кг.

Величина g определяется взвешиванием продукта или по формуле

$$g = \sum v\beta\rho, \quad (1.21)$$

где $\sum v$ – сумма объемов выбрасываемых продуктов черпаками, м³;

β – коэффициент наполнения черпаков, %;

ρ – плотность корнеплодов, т/м³.

После соответствующих преобразований (1.20) получим

$$Q = 60n \sum v\beta\rho. \quad (1.22)$$

Анализ технологического процесса барабанных моек показывает, что при установившемся режиме и постоянных значениях n , $\sum v$ и h , производительность будет величиной постоянной. Воздействие рабочих элементов на обрабатываемый продукт при этих условиях остается постоянным. Наличие продуктов с различной степенью загрязненности требует различных режимов работы от одной машины. Попытки получить

качественный продукт за счет увеличения его слоя в барабане и уровня воды не дают желаемого результата. Достичь это можно путем двойного пропускания продукта через мойку или изменением величины $\sum v$ выбрасываемых лопастями за счет перестановки их или изменения числа. С изменением $\sum v$, при неизменных h и n масса продукта, одновременно находящаяся в барабане, изменяет Q и время t пребывания его в воде и качество обработки.

Между названными конструктивно-режимными параметрами существует зависимость [19, 22, 25] вида

$$V_1 = \frac{Q_1 t}{\rho}, \quad (1.23)$$

где V_1 – полезный объем барабана, занятый продуктом, м³;

Q_1 – производительность, кг/мин;

t – время пребывания продукта в воде, мин;

ρ – плотность продукта, кг/м³.

По формуле (1.23), определяем основные размеры барабана.

Данная формула не учитывает измененную плотность корнеплодов в воде, а также долю корнеплодов относительно воды в мойке.

К недостаткам данного типа корнеклубнемоек относятся: большие удельные объемы, большое количество удельного расхода воды и емкостей для ее утилизации, не учитываемая в теории динамика воды во вращающемся горизонтальном барабане и субъективный подход к количеству подаваемой и отводимой технологической воды.

Барабанно-лопастная корнеклубнемойка (рисунок 1.9) является усовершенствованной конструкцией существующего типа корнеклубнемоек, в которых барабан разделен на чередующиеся между собой секции [27]: нагнетательные и вытяжные, имеющие отверстия, расположенные по их окружности и лопасти, установленные вдоль одной из кромок отверстий, под углом к поверхности барабана, при этом лопасти нагнетательных секций направлены навстречу вращения барабана, а вытяжные – в сторону вращения барабана.

Лопастные нагнетательных секций установлены с возможностью регулировки угла их наклона к поверхности барабана.

Корнеклубнемойка состоит из барабана 1, нагнетательных 2 и вытяжных секций 3 с промежутками 4 между ними, емкости 5, наполненной водой, роликов 6, загрузочной воронки 7, сбрасывателя 8, выгрузного механизма 9.

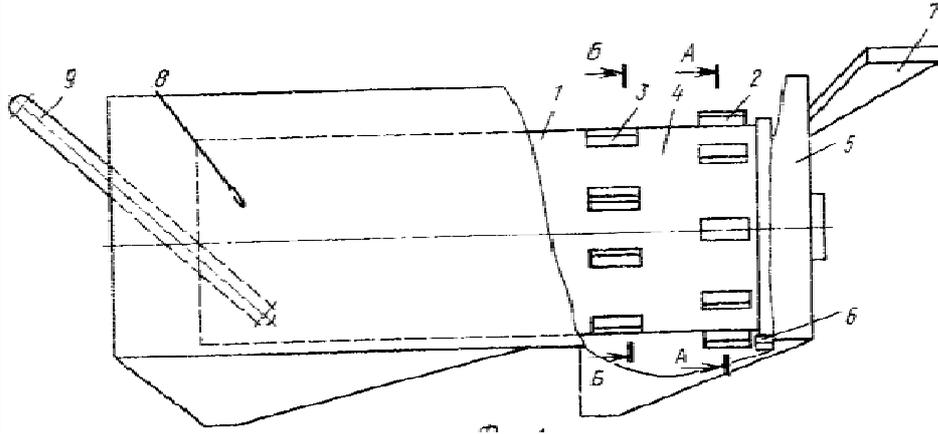


Рисунок 1.9 – Схема общего вида барабанно-лопастной корнеклубнемойки

1 – барабан; 2 – нагнетательная секция; 3 – вытяжная секция; 4 – промежутки; 5 – емкость с водой; 6 – ролик; 7 – загрузочная воронка; 8 – сбрасыватель; 9 – выгрузной механизм

Технологический процесс корнеклубнемойки следующий. Грязные корнеплоды через загрузочную воронку 7 поступают во вращающийся барабан 1, где под действием центробежных сил и сил трения увлекаются по стенке барабана вверх. Барабан вращается с критической частотой, поэтому часть корнеплодов, находящихся ближе к центру барабана, осыпается под углом естественного откоса, скользят и перекатываясь по нижележащим слоям, а затем погружаются в воду. Выступающие лопасти нагнетательных секций 2 захватывают воду и проталкивают ее через слой корнеклубнеплодов по радиусу барабана от периферии к центру. При этом корнеклубнеплоды отталкиваются от вращающейся стенки барабана и падают в воду. За нагнетательной секцией расположена вытяжная секция, через которую вода выталкивается из барабана наружу, проходя слой корнеклубнеплодов по радиусу от центра к периферии. Поджатые водяным потоком и центробежными силами корнеклубнеплоды поднимаются по

стенке барабана, где, соприкасаясь со сбрасывателем 8, отделяются от неё и падают вниз по криволинейной траектории. Перемещение корнеклубнеплодов идет при интенсивном перетирании и всестороннем их отмывании потоками воды. Одновременно с поперечным движением воды происходит ее перемещение в продольном направлении от загрузочной воронки 7 к выгрузному механизму 9.

Регулирование качества мойки происходит количеством подаваемой воды в барабан, а удаление грязи - как у всех барабанных моек через грязевой люк.

Недостатком мойки является большое количество увлекаемой с выгружаемыми корнеклубнеплодами воды.

Анализируя рассмотренные очистительные устройства корнеклубнеплодов, пришли к выводу, что все вышерассмотренные типы очистительных машин имеют как свои преимущества, так и недостатки, поэтому в конструкциях очистителей обычно комбинируются несколько видов рабочих органов.

Наиболее полно требованиям качества очистки и степени повреждаемости соответствуют машины, имеющие вращающийся, с горизонтальной осью, барабанный рабочий орган, погруженный в воду. Вращающийся барабан обеспечивает корнеклубнеплодам возможность перекатывания от верхней точки подъема до нижней по прямой, находящейся под углом близким к естественному откосу, а также придание части корнеклубнеплодов состояния невесомости в жидкой среде, что обеспечивает в комплексе интенсивное отмывание грязи путем перетирания друг о друга, о стенки барабана и водяной поток.

Технологический процесс очистки корнеклубнеплодов складывается из операций их перемещения по барабану, собственной очистки и выгрузки, а также удаления их из барабана. Важным условием качественной очистки является непрерывная переориентация положения корнеклубнеплода в барабане. Для осуществления данной операции предпочтительным является очиститель, оборудованный транспортирующим устройством (шнек, спираль, кулачок, штифт, диск,

решето, вода и т. д.). Все транспортирующие органы дают возможность управления качеством корнеплода при разной степени их загрязнения, через экспозицию, т.е. время нахождения корнеплода на обработке.

Перечисленным требованиям в наибольшей степени соответствует конструкция барабанной корнеклубнемойки с параллельно расположенными и чередующимися нагнетательными и вытяжными секциями. Преимуществом такого очистителя является то, что барабан очистителя вращается с критической частотой и располагается в водяной ванне, а струи воды омывают корнеклубнеплоды, осуществляют их переориентацию в пространстве, отбрасывают их от внутренней поверхности барабана, погружают в воду и выводят грязную воду с мелкими частичками из барабана.

Универсальные моечные машины. В отечественной и зарубежной практике барабанные корнеклубнемойки имеют большие конструктивные особенности, связанные с выполнением функций: отделения механических примесей, мойки корнеклубнеплодов, шлифовки поверхности овощей, фруктов и пищевых корнеклубнеплодов. К таким машинам относятся корнеклубнеовощемойки непрерывного действия (рисунок 1.10), исключая промежуточные технологические емкости, и хорошо поддающиеся автоматизации процесса.



Рисунок 1.10 – Корнеклубнеовощемойка непрерывного действия

Однако они конструктивно сложны из-за наличия множества щеточных механизмов, окружающих внутреннюю оболочку барабана, и множества форсунок для распыла воды. В целом эти машины очень энергоемкие и имеют большие удельные расходы воды.

Комбинированные корнеклубнемойки. Данный тип машин сочетает в себе очистку корнеклубнеплодов сухим и жидкостным способом (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Машина моечная барабанного типа с камнеотборником

В этих машинах предусмотрен дополнительный подставной механизм, выполняющий функции отделения механических примесей. Для обслуживания этих машин требуются большие производственные площади и затраты по поддержанию оптимального микроклимата в зоне оператора.

Мойки корнеплодов и овощных культур для предприятий пищевых отраслей. Данный тип машин (рисунок 1.12) представляет закрытую ванну, обрамленную снизу вращающимися щетками в потоке распыленных струй.



Рисунок 1.12 – Машина для мойки корнеплодов, овощей, фруктов

Благодаря этому обеспечивается повышенное качество мойки конечного продукта. Недостатками таких машин являются большие габаритные размеры, сложная конструкция и высокие удельные энергетические показатели.

Машины щеточно-барабанного типа. Они изготавливаются в ИП «Кагуй» для сухой и жидкостной очистки. В этих мойках (рисунок 1.13) имеется рифленый барабан с вращающимися щетками в водяном потоке. Внутри барабана расположено душирующее устройство, через которое осуществляется подача воды. Механические примеси через отверстия в барабане выводятся в коническую ванну, из которой через специальный люк выгружаются в канализацию [81].



Рисунок 1.13 – Машина щеточно-барабанного типа (комбинированная)

В этих машинах одновременно применяется механическое, гидравлическое воздействие на обрабатываемый продукт.

Техническая характеристика

Производительность, т/ч. 2–3 (при предварительном отстое загрязненных корнеплодов в ванне для замачивания); расход воды, м³/ч до 1,5 (в зависимости от загрязнения продукта); установленная мощность, кВт/ч 2,2; габаритные размеры, мм 3500x1250x1700; масса, кг 320.

Машина изготавливается из нержавеющей стали AISI-304.

Цена мойки, тыс. руб. 327.

Эти машины очень дорогостоящий имеет большие габаритные размеры и удельную энергоёмкость.

Моечно-встряхивающие машины. Моечно-встряхивающая машина (рисунок 1.14) предназначена для мойки овощей и плодов, а также для охлаждения их после тепловой обработки. Она состоит из каркаса, душевого коллектора, ванны и привода. Каркас имеет четыре стойки с опорными плитами. К каркасу на четырех шарнирных подвесках прикреплено под углом 5° к горизонту сито, совершающее возвратно-поступательное движение, которое передается от коленчатого вала.

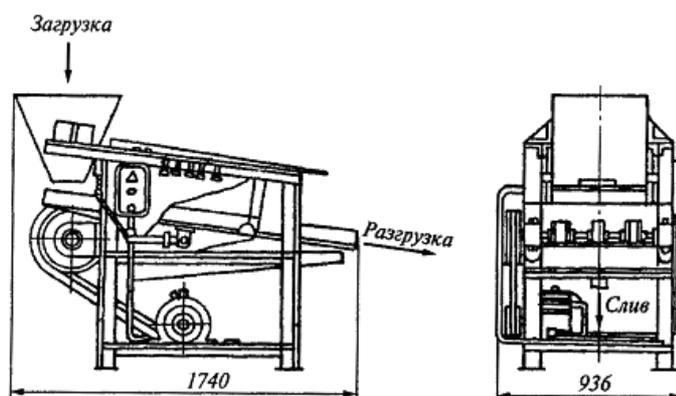


Рисунок 1.14 – Схема моечно-встряхивающей машины

Над ситом установлен бункер с шибером для регулирования количества подаваемого продукта и душирующий коллектор с соплами, а под ним установлена ванна с отверстием для слива отработанной воды.

Недостатком данного типа машины является повышенное повреждение обрабатываемого продукта.

Разновидностью данного типа моечной установки является клавишный [29], который сопровождается повышенной повреждаемостью корнеплодов и энергоемкостью процесса по сравнению с другими.

Для определения пути совершенствования технологических, конструктивно-режимных параметров корнеклубнемоек разработана их классификация.

1.3 Классификация способов и технических средств мойки и очистки корнеклубнеплодов

Все машины по мойке и очистке корнеклубнеплодов овощных и бахчевых культур на животноводческих фермах, в сахароваренной, пищевой промышленности и других предприятиях [17, 28, 30, 31] разделили по

следующим основным признакам: способ очистки; принцип действия; режим работы; вид движения рабочего органа; конструкция рабочего органа; способ перемещения корнеплодов в рабочей камере; вид воздействия рабочего органа на корнеклубнеплоды; место расположения устройств для отделения механических примесей; конструкция устройства вывода продукта; расположение в пространстве; способу отвода грязи и грязной воды и качество конечного продукта.

Разработана классификация (рисунок 1.15) способов и технических средств мойки и очистки корнеклубнеплодов по наиболее существенным признакам:

- *способу очистки*: сухой, жидкостной, комбинированный.

Сухой способ для очистки корнеплодов предпочтителен в полевых условиях. Он исключает вывоз плодородной почвы с полей. При стационарных условиях сопровождается большим выделением пыли и требует сложных инженерных решений. Жидкостной способ более гигиеничен, однако требует больших объемов отстойников грязи и больших эксплуатационных затрат по их утилизации. Поэтому на практике целесообразно применять комбинированный способ очистки (рисунок 1.11), который сочетает в себе положительные стороны сухой и жидкостной очистки. Эти машины сложны в конструктивном исполнении и требуют специальных устройств по выводу механических загрязнителей.

- *принципу действия*: непрерывные и периодические.

Машины непрерывного действия (рисунок 1.10) являются наиболее совершенными по сравнению с периодическими, так как они исключают промежуточные технологические емкости и хорошо поддаются автоматизации процесса.

- *режиму работы*: с длительным и кратковременным циклом.

Кратковременный режим обработки является предпочтительным по сравнению с длительным. Он исключает вымывание ценных питательных составляющих из корнеклубнеплодов и требует меньше производственных объемов.

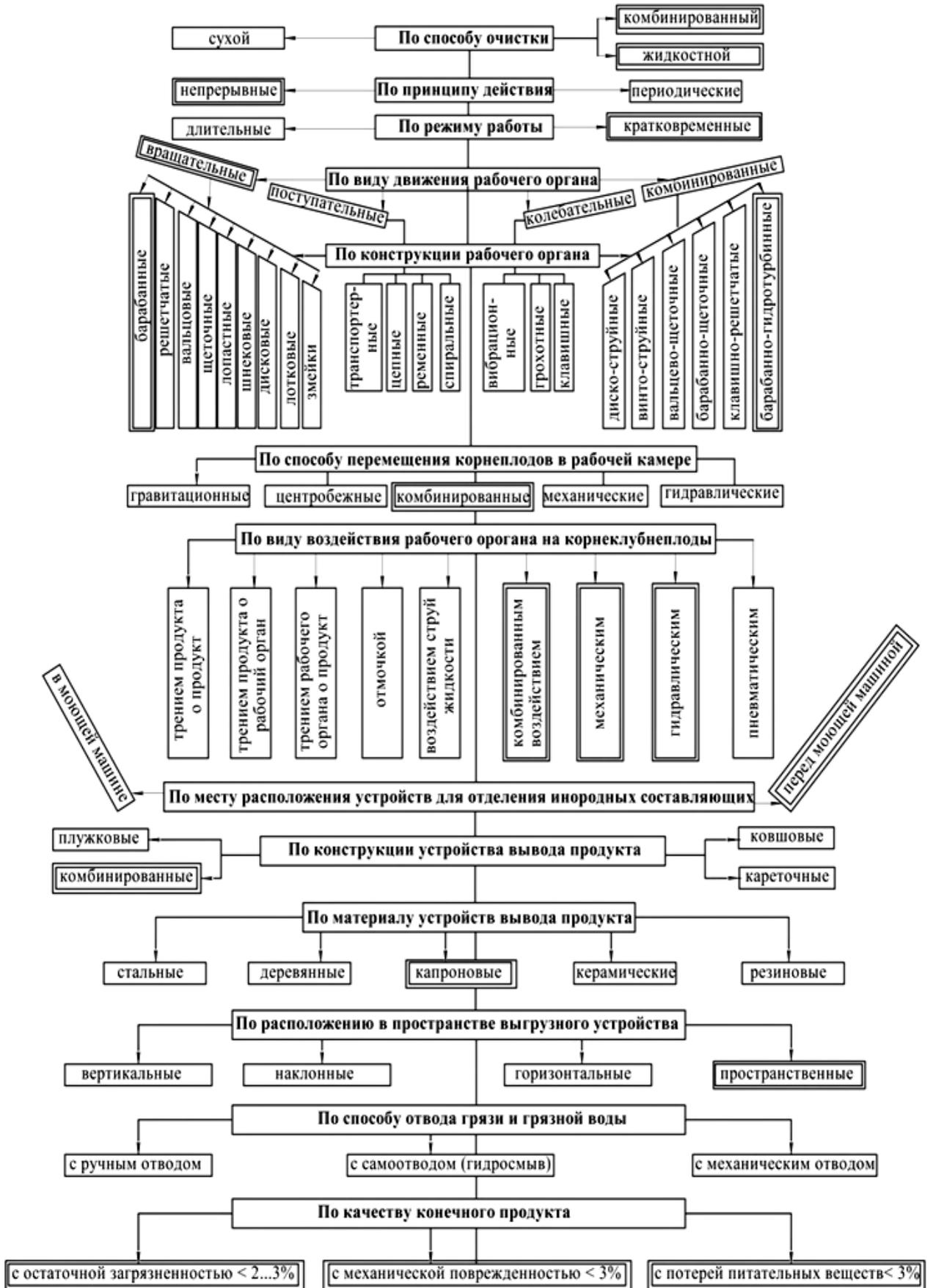


Рисунок 1.15 – Классификация способов и технических средств мойки и очистки корнеклубнеплодов

- *виду движения рабочего органа*: вращательный; поступательный; колебательный; встряхивающий, комбинированный.

Из анализа первоисточников видно, что у большинства машин по очистке корнеплодов предпочтение отдано вращательным рабочим органам, однако существенным их недостатком является низкий коэффициент использования рабочего объема цилиндра, барабана, грохота и малая частота вращения, которые снижают производительность установки и требуют больших производственных площадей и объемов. Поэтому использование комбинированных рабочих органов считается желательным.

- *конструкции рабочего органа*, активизирующие движение корнеклубнеплодов: барабанные, лотковые, змейки, решетчатые, шнековые, дисковые, вальцовые, щеточные, лопастные, клавишные, жидкостные. Барабанный рабочий орган является наиболее универсальным, используется для обработки корнеклубнеплодов, бахчевых, овощных, плодовых и других культур, в то время как остальные рабочие органы, например вальцовые (рисунок 1.12), имеют определенную специализацию.

Кроме мойки продукта, они могут осуществлять их полировку, а при наличии специальных выгрузных устройств и отделение нерастворимых механических примесей. Из-за своей сложной конструкции они применяются в основном в пищевой промышленности.

Конструкции рабочего органа *поступательного движения* классифицируют на: транспортерные, цепные, ременные, спиральные. В сельскохозяйственном производстве они применяются очень редко из-за большого повреждения и потери исходной массы продукта.

Конструкции рабочего органа *колебательного движения* подразделяются на: вибрационные, грохотные, клавишные. Из-за своей относительной неуравновешенности рабочего органа и бросковой перемещаемости продукта. Они обладают повышенной травмоопасностью и повреждаемостью обрабатываемого продукта.

Конструкции рабочего органа с *комбинированным движением* классифицируются на: барабанно-гидротурбинные, вальцево-щеточные, клавишно-решетчатые, барабанно-щеточные, винтоструйные, дискоструйные;

- *способу перемещения корнеклубнеплодов в рабочей камере* подразделяются на: гравитационные, центробежные, комбинированные, механические, гидравлические, гидромеханические. В чистом виде ни один из этих способов не применяется за исключением отдельных особенностей технологического процесса.

- *виду воздействия рабочего органа на продукты*: трение продукта о продукт, трение продукта о поверхность рабочего органа, трение рабочего органа о продукт, отмочка, воздействие струй жидкости, механическое, гидравлическое, пневматическое, комбинированное (рисунок 1.13).

Комбинированная машина [30, 32, 33, 81] предназначена для мойки картофеля, свёклы, репы, плодов, фруктов, овощей и бахчевых культур.

Продукты поступают в машину через приемный лоток, подвергаются мойке путём трения друг о друга и о щеточный покров барабана при вращении. Корнеплоды продвигаются внутри барабана по направляющим лопастям, промываются в душирующем устройстве и направляются на дальнейшую обработку. Основными недостатками данной машины является сложность конструкции, высокие удельные расходы воды, высокая цена.

В выпускаемых в настоящее время отечественных и зарубежных машинах для мойки корнеклубнеплодов и овощных культур применяются комбинированные виды воздействия. Данный тип заслуживает дальнейшего исследования с целью модернизации машин требующих значительного снижения удельных затрат ресурсов.

- *месту расположения устройств для отделения механических примесей*: в моющей машине; перед моющей машиной.

Устройства для выведения механических примесей, расположенные перед моющей машиной, имеют преимущество перед машинами, в которых механические примеси отделяются в процессе обработки.

- *конструкции устройств вывода продукта из машины* подразделяются на: плужковые, ковшовые, кареточные и комбинированные.

В зависимости от вида обрабатываемого продукта его физико-механических свойств предпочтение отдается одной из перечисленных конструкций. Для создания универсальных машин целесообразно использовать комбинированные выводные устройства.

- *материалу изготовления устройства вывода продукта* подразделяются на: стальные, деревянные, капроновые, пластмассовые и др.

Наиболее перспективными и индустриальными материалами для устройств по выводу корнеклубнеплодов из агрессивной среды корнеклубнемоечных машин являются капрон, силикон, пластмасса и резина.

- *расположению в пространстве выгрузного устройства* подразделяются на: вертикальные, наклонные, горизонтальные, пространственные (комбинированные).

- *способу отвода грязи и грязной воды*: с ручным отводом с самоотводом (гидросмыв) и с механическим отводом.

- *по качеству конечного продукта*: с остаточной загрязненностью не более 2 – 3 %, с механическим повреждением не более 3 % исходного продукта, с потерей питательных веществ не более 3 % [34].

В результате проделанного анализа и классификации способов и технических средств корнеклубнемоечных машин сделаны следующие выводы:

- наиболее перспективным направлением в совершенствовании процесса очистки корнеклубнеплодов будут барабанные гидротурбинные корнеклубнемойки;

- в основе технологического процесса отделения загрязнителей с поверхности корнеклубнеплодов в корнеклубнемойках заложены пассивные методы с удлиненным временем технологического воздействия моющей жидкости на обрабатываемый продукт (длительность периода обработки составляет 3–6 мин);

- в научно-исследовательских работах влияние динамики жидкости во вращающемся горизонтальном барабане с частичным его заполнением продуктами на физико-механические свойства корнеклубнеплодов, на пропускную способность машин и качество конечного продукта изучены недостаточно глубоко;

- выгрузка продукта из моечной машины с внутренней цилиндрической вращающейся поверхностью для исключения его повреждения и снижения затрат энергии в перспективе рекомендуется сбрасывателями кусковых материалов в виде винтоконусной формы (Приложение А), которая позволит увеличить частоту вращения барабана, а применение принципиально новой гидротурбинной корнеклубнемоечной машины (Приложение Б), позволит увеличить производительность и снизить параметры габаритных размеров устройства;

- учитывая зоотехнические требования на качество мойки корнеплодов, производительность материалоемкость и энергоемкость наиболее перспективной машиной следует считать барабанную корнеклубнемойку [6, 18, 26, 28, 30, 81].

1.4 Исследование поведения жидкости в частично заполненном горизонтально вращающемся барабане

Жидкость, вращающаяся вместе с полостью вокруг горизонтальной оси, подвержена воздействию со стороны гравитационного поля центробежной силы модулированно осциллирующим во вращающейся системе полем тяжести [35].

Интенсивность осцилляционного воздействия характеризуется параметром $\Gamma = g/\Omega^2 R$ – безразмерной осцилляционной силой.

В известных барабанных корнеклубнемойках теоретические основы не учитывают поведение жидкости и ее влияние на основные конструктивно-режимные параметры установки. Однако Иванов А.А. [36] указывает на

необходимость изучения поведения жидкости в зависимости от безразмерной частоты $\omega = \Omega h^2 / \nu$. ω – отношения времени воздействия к характерному времени переноса импульса, где g – ускорение свободного падения; Ω – скорость вращения; R – внутренний радиус барабана; h – средняя толщина слоя жидкости внутри барабана; ν – вязкость жидкости.

В зависимости от указанных параметров мойки вода может находиться в трех качественно различных состояниях.

При заданной ω и высоких значениях Γ , т.е. частоте вращения барабана корнеклубнеймойки, рекомендованной $n_{opt} = (0.35 - 0.4)n_{кр}$, [25, 35, 102], чистая вода в барабане (рисунок 1.16 а) имеет ровную горизонтальную поверхность.

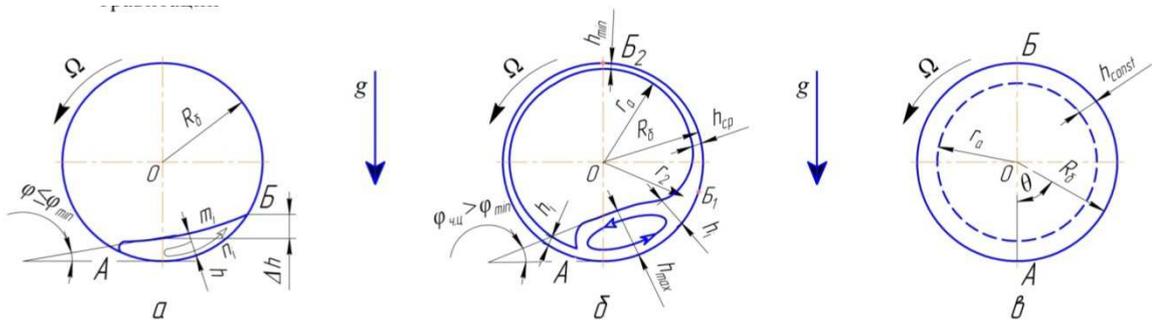


Рисунок 1.16 – Схема поведения жидкости во вращающемся барабане

a – полный приоритет сил гравитации, *б* – частичное центрифугирование, *в* – полное центрифугирование

В поперечном сечении слой воды имеет вид сектора с точкой А и Б по сторонам барабана с постоянной высотой h . Качественное состояние воды спокойное под *приоритетом сил гравитации* при $n_{opt} \ll n_{кр}$.

В секторе Am_iBn_i нижние слои воды An_iB в результате осмотических взаимодействий со стенками барабана увлекаются в движение по направлению вращения, и, достигнув верхнего уровня воды в точке Б, спокойно стекают по линии Bm_iA к противоположной стороне точки А.

Дальнейшее снижение значения Γ , т.е. наращивание скорости вращения барабана приводит к усилению воздействия центробежных сил, которые более активно увлекают нижние слои воды вдоль барабана на высоту Δh . Но

силы гравитации ее возвращают назад, т.е. начинается противодействие центробежной силы с силой гравитации. При этом поверхность массы воды в барабане смещается на угол φ_i , а стекающая по стенке барабана вода образует, сталкиваясь с поднимающейся водой, волны по всей длине барабана. При дальнейшем увеличении скорости вращения жидкость в большем количестве увлекается во вращательное движение совместно со стенкой барабана (рисунок 1.16 б). Толщина увлекаемого слоя, отделенная от сектора в точке Б, имеет h_i и по мере подъема воды по стенке к точке Б₁ уменьшает r_a и снижает толщину h до h_{cp} . При подъеме воды к верхней точке Б₂ сектор имеет h_{min} . Оставшаяся часть жидкости приобретает угол наклона сектора $\varphi_{ч.ц.} > \varphi_{min}$.

Данный режим работы вращающегося барабана с жидкостью относят к *частичному центрифугированию* или $n_{ч.ц.} = n_{кр}$.

Жидкость, увлекаемая барабаном, входит в нижний слой сектора и в результате удара образует впадину в точке А и всплеск в секторе, который приобретает более активное вращение. С увеличением скорости вращения барабана вода остается разделенной на две части. Лишь достигнув порога центрифугирования Г, вода скачкообразно вся приходит во вращение (рисунок 1.16 в) и равномерной толщиной h распределяется по всему барабану, т.е. переходит в новое качественное состояние – *полное центрифугирование*.

С ростом интенсивности воздействия параметра Г близлежащие к центру слои жидкости начинают приобретать гроздеобразный вид, часть которых отрывается вниз от общей массы. Такой эффект приводит к срыву режима центрифугирования и новому возникновению с h_i и т. д. Preziosi L. [37] назвал это состояние ползучестью. Возможность применения данного явления ограничивается малыми h , т.е. тонкими слоями жидкости на барабане.

Порог обрушения слоя жидкости [38, 39], в высокочастотной области Г определяется как

$$\Gamma_M = \frac{\Gamma}{c} = \frac{1}{3}, \quad (1.24)$$

где Γ_M – модифицированная осцилляционная сила, действующая у свободной поверхности центрифугированного слоя жидкости;

$c = a/R$ – безразмерное расстояние от оси вращения до свободной поверхности;

$a = r$ – размерное расстояние.

Проведенные исследования [38, 39, 40, 41] показали, что жидкость совершает среднее движение, интенсивность которого пропорциональна Γ^2 и в пределе высоких частот не зависит от вязкости, что дает нам основание принимать рабочую жидкость – воду, доступную для животноводческих ферм.

В коротких цилиндрах стационарные течения генерируются в пограничных слоях, создаваемых торцевыми стенками барабана [39]. Поэтому нами принят барабан без боковых стенок [23, 42] с относительной длиной $i = L/R \geq 2$, соответствующей требованиям изложенным в [43, 44].

Коэффициент заполнения барабана водой в корнеклубнемоечных машинах φ теоретически не обоснован, но во многих моделях имеется верхнее сливное отверстие, которое с технологическими параметрами не связано. Поэтому, опираясь на [44, 45] и исследования работ промышленных центрифуг с горизонтальным расположением барабана, определим φ

$$\varphi = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1.25)$$

где V – объем жидкости, находящейся в полости барабана, м³;

V_0 – объем барабана, м³.

Применимость разработанных гипотез в отдельности для корнеклубнеплодов и жидкости следует проверить в комплексе на разработанной гидротурбинной корнеклубнемойке [23].

1.5 Цель и задачи исследования

На основании проведенного анализа способов и средств жидкостной мойки корнеклубнеплодов сделали вывод, что существующие машины, по

известным источникам, не обеспечивают: востребованной производительности, качество отделения прилипшей почвы от корнеклубнеплодов со сложной формой поверхности (свёклы), снижение габаритных размеров машины, упрощение конструкции, снижение удельных расходов воды.

Цель работы: повышение производительности и качества мойки корнеклубнеплодов за счет совершенствования барабанной корнеклубнемойки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

– разработать классификацию способов и средств очистки корнеклубнеплодов с определением их перспективного направления развития;

– разработать приборы для изучения физико-механических свойств корнеклубнеплодов и конструктивно-технологическую схему барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки;

– теоретически обосновать рабочий процесс, конструктивно-технологические и режимные параметры барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки;

– исследовать экспериментально влияние конструктивно-режимных параметров барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки на производительность и качественные показатели её работы;

– провести производственные испытания корнеклубнемойки и дать технико-экономическую оценку ее использования.

2 РАЗРАБОТКА ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БАРАБАННОЙ ГИДРОТУРБИННОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ

2.1 Направление совершенствования разработки корнеклубнемойки

Корма поступают на ферму с загрязненностью до 20 % [3, 4, 6]; в результате несовершенства конструкции и высокой энергоемкости процесса корнеклубнемоечных машин и затрат на их подготовку эффект от их использования снижается до нуля [8, 21, 22, 46, 47] . Поэтому направление разработки энергоресурсосберегающей корнеклубнемоечной машины, обеспечивающей производство конкурентоспособной продукции, является актуальным.

На основании анализа первоисточников по способам и средствам мойки корнеклубнеплодов, проведена их классификация по основным признакам, которые позволили выявить пути совершенствования корнеклубнемоечных машин за счет расширения функциональных возможностей технологических операций, снижения энергетических затрат, выраженных соответствующими критериями эффективности.

Прежде чем разрабатывать новую машину для мойки корнеклубнеплодов, необходимо изучить физико-механические свойства корнеклубнеплодов на известных приборах по известным методикам, а также разработать новые приборы для изучения мало известных физико-механических свойств.

2.2 Приборы определения физико-механических свойств корнеклубнеплодов

2.2.1 Многофункциональный прибор для замера параметров корнеклубнеплодов

В процессе проведения исследований использовались общеизвестные приборы и методики. Известные приборы, как правило, предназначены для

замера одного показателя линейных параметров корнеклубнеплодов или их массы – это линейка, штангенциркуль, весы и т. д. [48].

Линейкой измеряли длину корнеклубнеплодов, его частей. Диаметр и глубину корешковой канавки – штангенциркулем. Массу корнеплода или его частей определяли с помощью весов.

Недостатками данных приборов являются:

- большая трудоемкость и погрешность замера диаметра корнеклубнеплода, например сахарной свёклы со сложной конфигурацией и неопределенной формой углублений, заполненных корешками. Для их замера используют одновременно несколько приборов, а после замеров производят приближенный расчет и затем выполняют следующие операции с помощью других приборов;

- фиксация корнеклубнеплодов в тисках или ложе одновременно требует два прибора и соответственно нерациональных затрат времени;

- невозможно определить центр тяжести отдельных корнеклубнеплодов, не нарушая их целостности.

Наиболее близким прибором для фиксации предметов является захват рычажно-фрикционный [49] предназначенный для механизированной грузопереработки запасных частей с плоскими и круглыми поверхностями. Он состоит из корпуса, двух рычагов, двух тяг, серьги и съемных губок: с насечкой, с накладкой из резины и полукруглой формы.

Недостатками захвата рычажного являются:

- использование его возможно при наличии двух человек: один – для удержания корнеплода между губками, а второй – для управления устройством подъема в зафиксированном положении;

- ограниченный набор сменных губок с насечкой и полукруглой формой исключает удержание корнеплода с влажной или загрязненной поверхностью.

По функциональному назначению наиболее близким прибором для замера неровных поверхностей является зоотехнический циркуль [50],

который позволяет замерять отдельные элементы животных по выступам или впадинам с одновременным показом линейных результатов на шкале замера.

Недостаток зоотехнического циркуля: невозможно одновременно замерять одним прибором длину и диаметр корнеклубнеплода, массу и центр тяжести.

Технической задачей является разработка многофункционального прибора для замера параметров сложной формы корнеклубнеплодов и массы с минимальными затратами труда (Приложение Г).

Техническая задача решается тем, что раздвижные дуги сжимаются пружиной и имеют сменные наконечники на концах дуг, а центр вращения раздвижных дуг выполнен полым с возможностью соединяться шарнирно с рычагом электронных весов, установленных на конце поворотной части стойки, закрепленной на монтажном ящике (рисунок 2.1).

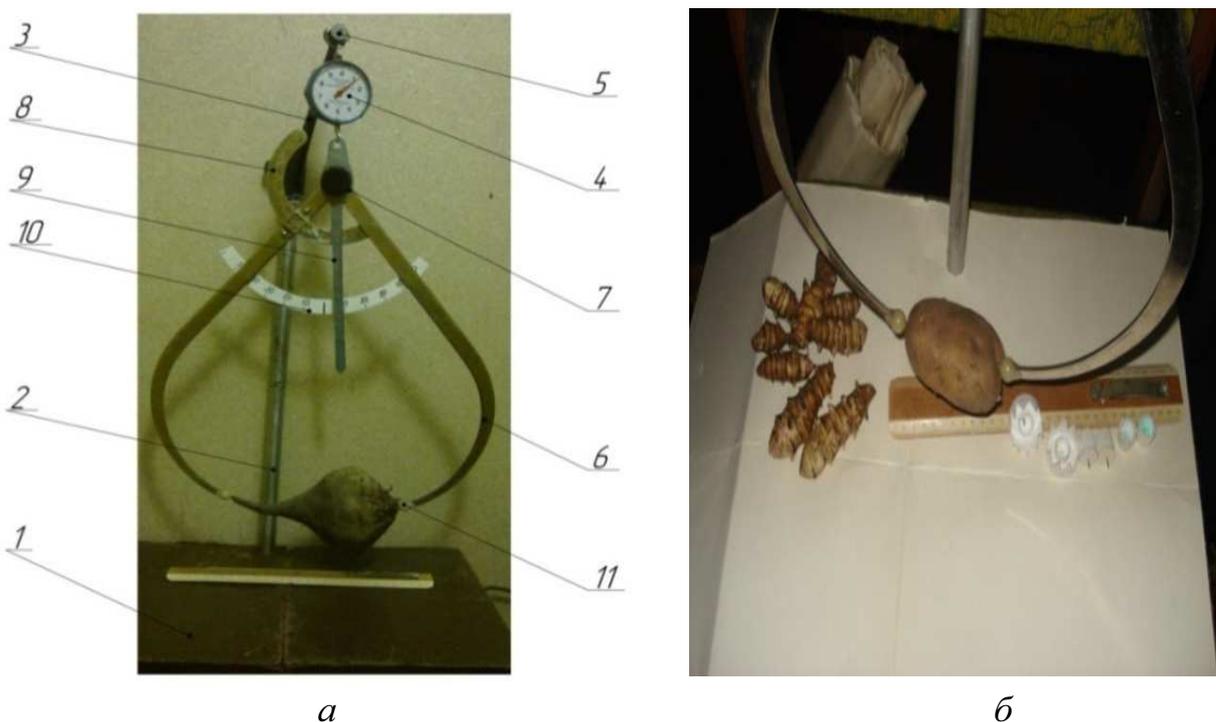


Рисунок 2.1—Многофункциональный прибор для замера параметров корнеклубнеплодов

а – замер корнеплода; б – замер клубнеплода (ниже расположены сменные наконечники); 1 – монтажный ящик; 2 – нижняя съемная стойка; 3 – поворотная часть верхней стойки; 4 – весы съемные; 5 – фиксатор; 6 – раздвижные дуги; 7 – пружина; 8 – сектор со шкалой линейных замеров; 9 – стрелка – отвес; 10 – шкала замера центра тяжести корнеклубнеплода; 11 – сменные наконечники

Кроме того, на рычаг электронных весов устанавливается стрелка-отвес, а шкала замера центра тяжести корнеклубнеплода закрепляется на одной из раздвижных дуг.

Отличие предлагаемой полезной модели [51] состоит в том, что многофункциональный прибор для замера параметров корнеклубнеплодов, включающий раздвижные дуги с центром вращения, с одной стороны, и фиксатором усилия раскрытия дуг и скругленными наконечниками на конце дуг, с другой стороны, причем на одной дуге жестко закреплен сектор со шкалой линейных замеров, проходящий через рамку для считки информации на другой дуге, отличающийся тем, что раздвижные дуги сжимаются пружиной и имеют сменные наконечники на концах, а центр вращения раздвижных дуг выполнен полым с возможностью соединяться шарнирно с рычагом электронных весов, установленных на конце поворотной части стойки, закрепленной на монтажном ящике.

На рычаг электронных весов установлена стрелка-отвес, а шкала замера центра тяжести корнеплода закреплена на одной из раздвижных дуг.

Перед началом работы собирают прибор в рабочее состояние. Для этого открывают монтажный ящик 1, вставляют в отверстие ящика съемную стойку 2, поворотную часть стойки 3 разворачивают на 90° и соединяют со стойкой 2. На свободный поворотный конец стойки 3 крепят электронные весы 4, на который с возможностью свободно поворачиваться крепят фиксатор 5 раздвижных дуг 6 циркуля, которые постоянно сжимаются пружиной 7. На одной из дуг циркуля закреплен сектор 8 со шкалой длины измеряемого корнеклубнеплода. Показание читают в рамке на второй дуге, а стрелка отвеса 9 показывает его центр тяжести на шкале 10, закрепленной на одной из дуг 6. На концах раздвижных дуг 6 устанавливают сменные наконечники 11 с присосками, иглами, шариками, для надежной фиксации корнеклубнеплода.

Замер параметров корнеклубнеплодов выполняли по методике:

– из отобранной для исследования навески, брали корнеклубнеплод и с шагом, равным 3, 5, 10, 15, 30, 50 мм, зоотехнической длины частиц, для

определенного вида животных, или технологии дальнейшей обработки делали промеры штангенциркулем по взаимно перпендикулярным сторонам;

– фиксировали корнеклубнеплод по продольной оси наконечниками 11 и записывали длину по показаниям в рамке шкалы сектора 8. Центр тяжести корнеклубнеплода считывали по показанию стрелки 9 на шкале 10, а массу корнеклубнеплода по показаниям электронных весов 4.

Результаты замеров производили в 5-кратной повторности и обрабатывали методом математической статистики.

Исследованию подвергались кормовая свёкла сорта Эккендорфская желтая, свёкла сахарная, морковь кормовая и морковь сорта Каротель, картофель сорта Лорх, топинамбур сорта Подсолнечниковый, выращенных в ЗАО «Агрофирма «Волга» Марковского района и фирмы «Кондрашкино» Ртищевского района урожая 2010-2013 гг. (Приложение Ж).

Наиболее распространенной кормовой культурой в Саратовской области является кормовая свёкла сорта Эккендорфская. Основные параметры физико-механических свойств корнеклубнеплодов определяли на приборе [52] с точностью до 1 мм и результаты сводили в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Основные параметры физико-механических свойств кормовой свёклы Эккендорфская желтая

Показатели корнеплодов	Длина, мм	Диаметр тах, мм	Угол естеств. откоса, град	Коэф. трения покоя по стеклу, текстолиту	Масса корнеплода, кг	Плотность кажущая, кг/м ³
1. Повторность опыта	5	5	5	5	5	5
2. Сумма результатов	1125	675	193	1,85	1432	3085
3. Минимальное значение	95	70	36	0,32	0,520	550
4. Максимальное значение	355	185	40	0,47	0,962	660
5. Среднее арифметическое	225	135	38,6	0,37	0,784	646
6. Среднее квадратическое	243,3	140,9	38,7	0,38	0,81	649,1

Предлагаемый многофункциональный прибор для замера параметров корнеклубнеплодов позволяет с меньшими затратами времени и исключением субъективного фактора проводить исследования практически всех видов, бахчевых, корнеклубнеплодов, кормовых и других культур.

2.2.2 Методика и результаты определения исходной и конечной загрязненности

Исходную и конечную загрязненность корнеклубнеплодов определяли по методике [21].

Согласно которой из бурта (грязных корнеклубнеплодов) в пяти различных точках снизу, середины, сверху и также с другой стороны брали навеску по 25 корнеклубнеплодов (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Навеска корнеклубнеплодов сахарной свёклы фермерского хозяйства «Кондрашкино» до мойки

Распределяли их по диаметрам на 5 групп. С каждой группой корнеклубнеплодов проводили исследования и полученные средние результаты из 5 повторностей после обработки представили в Приложение 3.

На весах 1 (рисунок 2.4) определяли массу загрязненного корнеклубнеплода, затем закрепляли его зажимом б и опускали на тресе 5 в прозрачную емкость 2 с водой. Свободный конец троса 5 закрепляли на

зажим призмы мерной чаши весов до легкого натягивания троса и опускали конец рычага весов на 10 мм вниз. В свободную чашу весов укладывали гири или медленно высыпали из кружки 4 песок до тех пор, пока уравновесится весовой механизм, затем снимали чашу с песком и ставили на весы 1, массу песка записывали в таблицу 2.2. Опыт повторяли 5 раз. Мелкие корнеклубнеплоды за трос 9 опускали в цилиндр а или б, предварительно записывали уровень объема воды в цилиндре. После погружения корнеклубнеплода в воду записывали новый уровень воды. По известной формуле определяли плотность ρ_3 загрязненного корнеклубнеплода

$$\rho_3 = \frac{m_3}{V_3}, \quad (2.1)$$

где m_3 – масса загрязненного образца корнеклубнеплода, кг;

V_3 – объем, занимаемый загрязненным корнеклубнеплодом, м³.

Тщательно, вручную вымывали корнеклубнеплод. Опыт повторяли 5 раз и определяли плотность вымытого ρ_B корнеклубнеплода.

$$\rho_B = \frac{m_B}{V_B}, \quad (2.2)$$

где m_B – масса вымытого образца корнеклубнеплода, кг;

V_B – объем, занимаемый вымытым корнеклубнеплодом, м³.

Из анализа результатов таблицы 2.2 следует, что отдельные корнеклубнеплоды в ворохе перед мойкой имели массу от 3,29 кг до 6,11 кг, при средней массе корнеклубнеплода 4,64 кг.

После мойки масса корнеклубнеплодов снизилась от 3,2 до 6,0 кг, т.е. с каждого корнеклубнеплода удалилось от 0,09 до 0,11 кг загрязнителя.

Степень загрязненности исходного сырья в пересчете на единичные корнеклубнеплоды составляла от 3,5 до 15,5 %. Верхняя часть корнеклубнеплодов была «абсолютно» чистой у свёклы кормовой и полусахарной. Загрязнитель находился в основном на нижней части корнеплода, свёклы сахарной и моркови. Остаточная загрязненность $\delta_{ост}$ у корнеклубнеплодов варьировала в пределах от 1,5 до 3,0 %, причем

загрязнитель находился в углублениях корешковой канавки, где имелось наибольшее количество мелких корешков.

После ручной очистки масса каждого корнеплода снизилась соответственно до 1,92-5,62 кг. Загрязненность почвой по отдельным повторностям составляла 14,9; 3,4; 10,0; 8,5; 7,9 % при среднем значении загрязненности вороха 8,94 %. Кроме почвы в исследуемых пробах, присутствовали растительные остатки, куски дерева и другие включения, составляющие от 0,1 до 6,0 % навески.

Таблица 2.2 – Качественные показатели кормовой свёклы

Показатели	Номер повторности опыта					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
1. Масса корнеклубнеплода до мойки, кг	5,15	3,85	3,29	4,82	6,11	4,644
2. Масса корнеклубнеплода после мойки, кг	5,04	3,73	3,20	4,74	5,98	4,538
3. Степень загрязненности, исходного сырья, $\delta_{исх}$ %	15,5	3,5	11,3	10,1	8,1	9,7
4. Степень загрязненности вымытого корнеклубнеплода, $\delta_{ост}$ %	2,1	3,0	1,5	1,7	2,2	2,1
5. Масса совершенно чистого, (отмытого вручную) корнеклубнеплода, кг	4,36	3,72	2,92	4,34	5,62	4,192
6. Загрязненность почвой, %	14,9	3,4	10,0	8,5	7,9	8,94
7. Загрязненность растительными и др. включениями, %	0,6	0,1	1,3	1,6	0,2	0,76
8. Толщина загрязнителя на поверхности корнеклубнеплода, мм	0,1-3,3	0,0-1,5	0,1-3,1	0,0-2,2	0,01-3,0	1,33

Загрязненность по поверхности корнеклубнеплода кормовой свёклы была неравномерной и варьировала в пределах от 0,01 до 3,32 %.

Загрязненность поверхности сахарной свёклы достигала 9,9 %. После проведения статистической обработки полученных результатов по исследованию вороха корнеклубнеплодов $\delta_{исх}$ не превышала 4,2 % в зависимости от массы отдельного корнеклубнеплода, его диаметра D_{max} общей длины L , длины корешковой канавки l_k по данным которых строили графики (рисунок 2.3).

Полученные результаты опытов (Приложение Е) определения исходной загрязненности $\delta_{исх}$ сахарной свёклы от массы m_1 , максимального диаметра

D_{max} , общей длины L , длины корешковой канавки l_k , представляли в виде графиков (рисунок 2.3).

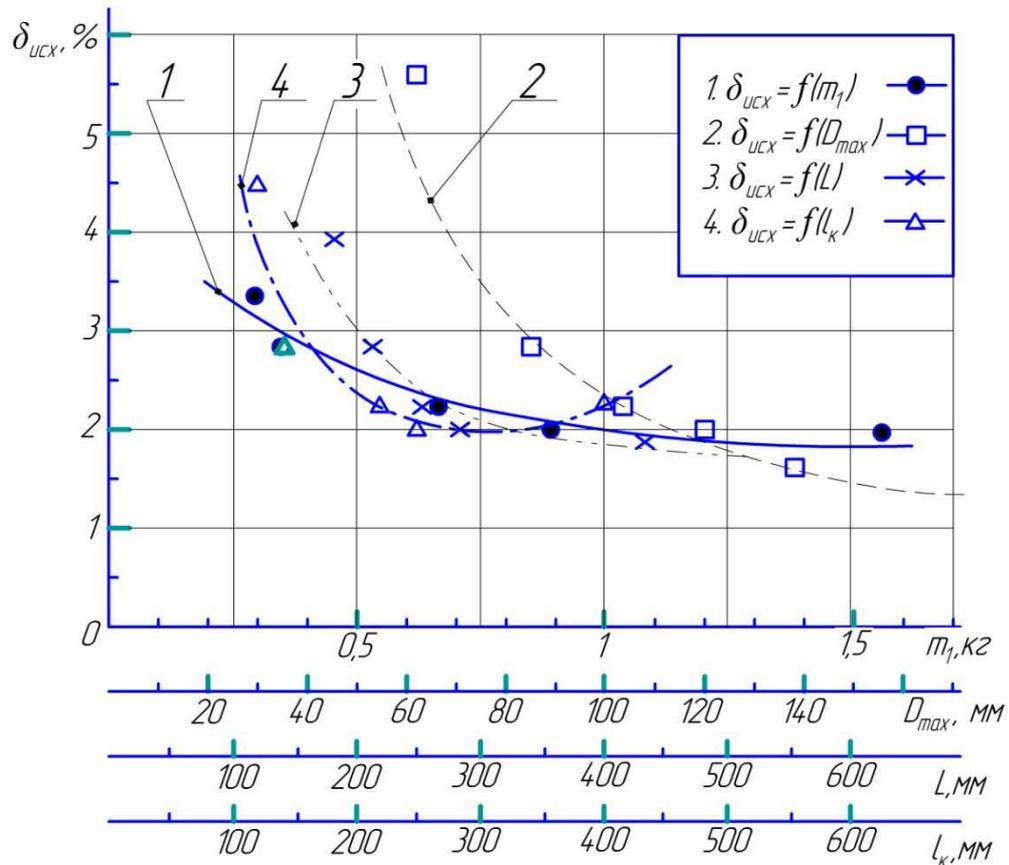


Рисунок 2.3 – Графики зависимости исходной загрязненности $\delta_{исх}$ корнеплодов сахарной свёклы от массы m_1 , максимального диаметра D_{max} , общей длины L , длины корешковой канавки l_k

Из анализа зависимости 1 видно, что исходная загрязненность $\delta_{исх}$, равная 3,9 % при массе m_1 корнеплода сахарной свёклы, равной 0,314 кг, уменьшается по кривой до 2 % с возрастанием массы корнеплода до 1,558 кг. На исходную загрязненность также влияет диаметр корнеплодов. Из зависимости 2 видно, что $\delta_{исх}$ уменьшается в 2 раза с увеличением максимального диаметра корнеплодов в пределах от 60 до 139 мм.

Увеличение длины корнеплода (зависимость 3) L со 180 до 440 мм способствует снижению исходной загрязненности на 51,3 %. Как видно, на более длинных корнеплодах удерживается меньше массы почвы.

Существенным отличием сахарной свёклы от других корнеплодов является наличие корешковой винтовой канавки, расположенной в эллипсной, восьмеркообразной части корнеплода, в которой находится

наибольшая масса трудно отделяемой почвы. Влияние длины этой канавки l_k (зависимость 4) на загрязненность выражается сложной закономерностью и не позволяет сделать точного вывода о ее влиянии на исходную загрязненность, так как она имеет различную глубину, ширину и форму со множеством углублений, в которых располагаются корешки различного диаметра, густоты и длины, существенно влияющие на исходную загрязненность. В наших опытах $\delta_{исх}$ усредненно колеблется $2^{\pm 1-2} \%$.

2.2.3 Приборы и методика исследования плотности корнеклубнеплодов

Различают кажущую и истинную плотность корнеклубнеплодов [53].

Кажущую плотность корнеклубнеплодов исследовали для насыпной массы ρ_0 (Приложение Ж). Истинную плотность ρ корнеклубнеплодов определяли без учета пустот и плотности в воде ρ_v . Выталкивающую силу корнеклубнеплодов в воде обозначили $P_{выт}$. Кажущую плотность массы определяли на приборах по методике [54] и результаты исследования представляли в виде таблиц (Приложение З). *Истинная плотность* корнеплодов ρ определялась в мерных цилиндрах 1 и 2, заполненных водой, объемом 500 мл с ценой деления 2,5 мл для замера топинамбура (рисунок 2.1 б) и мелкой моркови, а в цилиндре 2 (рисунок 2.4) объемом 2000 мл с ценой деления 5 мл – для замера средней и крупной моркови и мелкой сахарной свёклы. Замер истинной плотности крупных корней сахарной и кормовой свёклы производили на многофункциональном приборе 3 [51]. Он включает: электронные весы 4; прозрачную емкость 5, заполненную водой, на крышке 13, которой установлены рычажные весы 6, имеющие с одной стороны чашу 14, предназначенную для заполнения песком из мерной кружки или с помощью разновесов, а на втором конце весов закреплен трос 8 с зажимом 9 для зацепления корнеклубнеплода 10, находящегося в прозрачной емкости 5 со шкалой 11, предназначенной для определения угла трения. Истинную плотность ρ исследуемого корнеклубнеплода 10 определяли путем опускания его на тросе 12 в цилиндр 1 или 2. На исходную загрязненность

корнеклубнеплодов влияет размер его диаметра. Выталкивающую силу корнеклубнеплода в воде определяли на многофункциональном приборе 3 по следующей методике: закрепляли за один конец корнеклубнеплод 10 зажимом 9 с тросом 8, опускали его в прозрачную емкость 5, а трос 8 пропускали через отверстие в крышке 13, затем через отверстие в чаше 14 закрепляли вторым концом на коромысле весов. Уравновешивали чаши 14 путем добавления гирь. Заполняли прозрачную емкость водой, наблюдали за поведением корнеклубнеплода (состояние покоя, начало и вид всплытия). Для корнеклубнеплодов, которые остались лежать на дне, определяли необходимое усилие для подъема путем добавления разновесов на чашу весов.

Полученные результаты опытов на приборах (Приложения Г; Д; Е) сводили в таблицы 2.3-2.7.

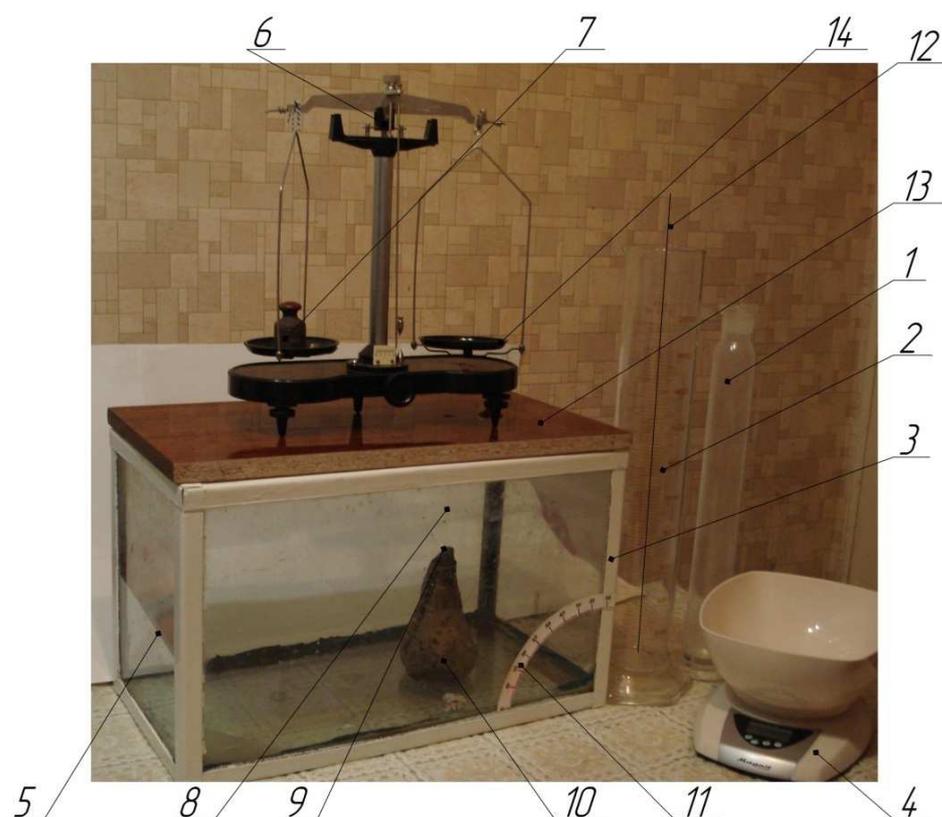


Рисунок 2.4 – Прибор определения плотности корнеклубнеплодов и коэффициента трения в воде

1 – цилиндр 500 мл, 2 – цилиндр 2000 мл, 3 – многофункциональный прибор; 4 – электронные весы; 5 – прозрачная емкость; 6 – рычажные весы; 7 – разновесы; 8 – трос; 9 – зажим; 10 – корнеплод; 11 – шкала транспорта; 12 – трос, 13 – крышка; 14 – чаша

Из анализа результатов таблицы 2.3 следует, что корнеклубнеплоды, находящиеся в ворохе, имели минимальное значение плотности 657 кг/м^3 для

Таблица 2.3 – Кажущая плотность корнеклубнеплодов ρ_0 , истинная плотность ρ , и плотность в воде ρ_v , кг/м^3

Название	Экспериментальные показатели					
	ρ_0	ρ	ρ_v	χ	$\rho_0 - \rho$	$\rho_0 - \rho_v$
1. Морковь Каротель	840	1072	232	0,78	-232	608
2. Морковь Нантская	684	1061	377	0,64	-377	307
3. Свёкла кормовая Эккендорфская	656	1123	467	0,58	-467	189
4. Свёкла столовая	772	1069	297	0,72	-297	475
5. Свёкла сахарная Рамонская-931	759	1058	299	0,71	-299	460
6. Картофель Лорх	657	1047	390	0,63	-390	267

картофеля и максимальное $\rho - 840 \text{ кг/м}^3$ для моркови. Полученные параметры кажущей плотности корнеклубнеплодов дают некорректную оценку для учета их поведения в воде. Оказавшись в воде, они тонут, что наглядно видно по конкретно замеренным показателям, характеризующим их истинную плотность в пределах от минимального значения для картофеля 1047 кг/м^3 до максимального для кормовой свёклы 1123 кг/м^3 . Замеренная плотность корнеклубнеплодов в воде показывает их отрицательную плавучесть ρ_v на величину $232 - 467 \text{ кг/м}^3$. Это свойство выразим коэффициентом $\chi = \frac{\rho_0}{\rho}$, показывающим отношение кажущей плотности к истинной, которую необходимо учитывать для проектирования параметров водяных струй через длину, ширину, угол вхождения и другие составляющие нагнетательных ковшей в гидротурбинной корнеклубнемойке. Каждому значению χ соответствует свое числовое значение сил воздействия водяных струй на корнеклубнеплод во вращающемся цилиндре, позволяющих приобрести состояние невесомости, увлекать их потоками воды со скольжением друг по другу, очищать от механических загрязнителей, находящихся на их поверхности.

Полученные свойства корнеклубнеплодов использовались при разработке гидротурбинной корнеклубнемойки и оценке качества мойки

продукта.

Объем загрязненного (вымытого) корнеклубнеплода (рисунок 2.5 а, б) находили по закону Архимеда путем расчета

$$V = \frac{m_{\text{вод}}}{\rho_{\text{вод}}}, \quad (2.3)$$

где $m_{\text{вод}}$ – масса вытесненной воды, погруженным корнеклубнеплодом, кг;

$\rho_{\text{вод}}$ – истинная плотность воды, кг/м³.



а



б

Рисунок 2.5 – Приборы определения истинной плотности корнеклубнеплодов
а – истинная плотность корнеплодов выше единицы (картофель, свёкла); б – истинная плотность корнеплода меньше или равна единице (морковь)

Фактическая поверхность корнеклубнеплода $A_{\text{ф}}$ определялась по зависимости

$$A_{\text{ф}} = \frac{V}{L_k} k_{\text{гф}}, \quad (2.4)$$

где L_k – длина корнеклубнеплода, м;

$k_{\text{гф}}$ – экспериментальный коэффициент, учитывающий геометрическую форму, длину корнеклубнеплода, сорт, почвенно-климатические условия его выращивания.

Кажущую плотность корнеклубнеплодов ρ_0 определяли на приборе [54], имеющем возможность изменять объем мерной емкости от 0,1 до 1,0 м³,

с площадью основания 0,01 до 1,0 м². Одновременно с замером объема емкости определяли массу загруженных корнеклубнеплодов. Полученные результаты обрабатывались по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_n}{V_T}, \quad (2.5)$$

где m_n – масса навески корнеплода, кг;

V_T – объем навески в таре, м³.

Следующим показателем физико-механических свойств корнеклубнеплодов является коэффициент трения.

2.2.4 Прибор и методика исследования коэффициентов трения корнеклубнеплодов по различным конструкционным материалам в воде

Исследование коэффициентов трения покоя, коэффициентов трения движения и качения корнеклубнеплодов в воде по продольной оси проводили на приборе (рисунок 2.6) (Приложение Д).

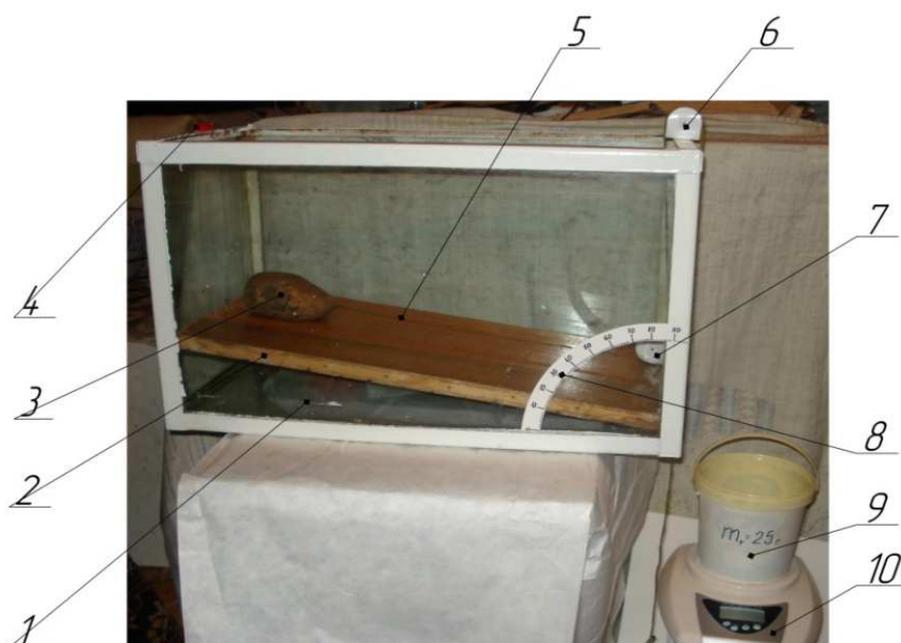


Рисунок 2.6 – Прибор для определения коэффициентов трения корнеклубнеплодов в жидкости (на фото прибор показан без воды)

1 – емкость для воды; 2 – сменная поверхность трения; 3 – корнеклубнеплод; 4 – фиксатор угла наклона рабочей плоскости; 5 – трос; 6, 7 – ролик; 8 – шкала транспортира; 9 – тара; 10 – весы

Прибор для определения коэффициента трения корнеклубнеплодов в жидкости состоит из прозрачной емкости для воды 1, в которой размещена сменная поверхность трения 2 с возможностью изменять угол наклона к горизонту, на которую укладывается исследуемый 3 корнеклубнеплод, фиксатор угла наклона 4 сменной поверхности трения. Трос 5 соединяет с помощью зажима исследуемый корнеклубнеплод с мерной емкостью 9 для песка через ролики 6 и 7, шкала транспортера 8 позволяет определять угол наклона исследуемой плоскости с корнеклубнеплодом, весы 10 для взвешивания массы песка в мерной емкости.

Замер основных параметров корнеплода в жидкости выполняли по методике [23], а по сухой поверхности по методикам [55, 56]:

Собирали прибор в рабочее состояние. На сменную поверхность 2, установленную горизонтально, укладывали взвешенный корнеплод 3. Трос 5 прикрепляли с помощью зажима одним концом к корнеплоду 3, а вторым концом – к емкости 9. Заполняли емкость 1 водой и постепенно засыпали песок в емкость 9 до начала движения корнеплода. Взвешивали массу песка в мерной емкости. Опыт проводили в пятикратной повторности, результаты обрабатывали по программе StatPlus и полученные данные представляли в виде графиков и аналитических выражений.

На экспериментальном приборе [57] (рисунок 2.6) с использованием сменных поверхностей из различных конструкционных материалов (рисунок 2.7): 1 – ДСП с синтетическим водостойким покрытием; 2 – дерево вдоль волокон; 3 – дерево поперек волокон; 4 – ДВП водостойкая с полированной поверхностью; 5 – стекло небьющееся; 6 – стеклотекстолит ГОСТ 12052-67 определяли коэффициент покоя, движения различных корнеклубнеплодов по следующей методике.

На горизонтально установленную поверхность трения 2 укладывали корнеплод и поднимали один конец сменной поверхности трения, фиксируя угол наклона по транспортеру до начала его движения (рисунок 2.6).

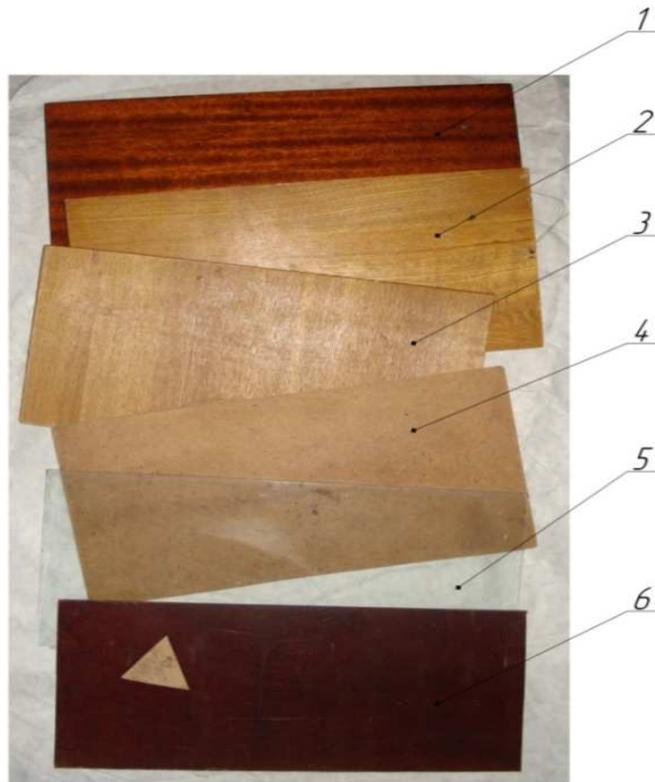


Рисунок 2.7 – Сменные поверхности трения конструкционных материалов
 1 – ДСП с синтетическим водостойким покрытием; 2 – дерево вдоль волокон;
 3 – дерево поперек волокон; 4 – ДВП водостойкая с полированной поверхностью;
 5 – стекло небьющееся; 6 – стеклотекстолит ГОСТ 12052-67

В результате исследования поведения корнеклубнеплодов в воде (Приложения И, К, Л, М) получили зависимости угла трения покоя φ_n , коэффициента трения движения φ_d , коэффициента трения качения φ_k от вида конструкционного материала (таблица 2.4).

Например, выяснилось, что корнеплод полусахарной свёклы с длиной по продольной оси 190 мм и средним диаметром 110 мм на сухой деревянной поверхности вдоль волокон спокойно лежит на плоскости до угла наклона 45° . С увеличением угла плоскости трения до $46-47^\circ$ корнеплод плавно начинал скользить, причем максимальное значение угла φ_n приходится на расположение головки свёклы на высокой стороне плоскости скольжения (рисунок 2.8), а меньшее – при расположении свёклы головкой вниз. Это объясняется смещением центра тяжести в сторону движения.

При положении корнеплода поперек направления движения на наклонной плоскости он начинал смещаться на сухой поверхности при 42° .

Таблица 2.4 – Угол трения покоя φ_n корнеклубнеплода по деревянной поверхности поперек волокон

Название	Параметры корнеклубнеплода			Вид движения корнеклубнеплода			
				по сухой поверхности		в воде	
	Плотность, ρ_0 , кг/м ³	Диаметр, мм	длина, мм	вдоль продольной оси	поперек (перека- тывание)	вдоль продольной оси	поперек (перека- тывание)
Свёкла полусахарная	704	110	190	46	42	39 подвсплывает	37
Картофель	657	75	145	39	27	40	39
Свёкла сахарная грязная	760	110	180	41	37	39	37
Свёкла сахарная чистая	714,4	120	210	44	25-27	45	38-40
Свёкла столовая (красная)	772	120	170	27	30	36	34
Морковь	840	59	176	42	26	40	34

Угол трения покоя колебался в пределах 40-46°. Вызвано это тем, что корень свёклы в поперечном сечении представляет сложную фигуру (рисунок 2.9) и он может располагаться на плоскости, контактируя с ней одной или двумя линиями. Чтобы ему перекатиться, необходимо «прямоугольной» фигуре повернуться через диагональ (min, max), на что требуется дополнительный подъем плоскости на больший угол.



Рисунок 2.8 – Начало движения корнеплода в воде вдоль продольной оси, головкой вверх

Аналогичные свойства наблюдались при перемещении других видов корнеклубнеплодов по деревянной и другим поверхностям.



Рисунок 2.9 – Поперечное сечение сахарной свёклы. Воздушное пространство в корнеплоде просматривается в виде темного пятна

При перемещении корнеплодов по поверхности из стеклотекстолита (таблица 2.5) видно, что угол трения покоя на сухом материале для всех корнеклубнеплодов меньше, чем по дереву, на 9-11°. Особенный интерес представляет поведение корнеплодов, на текстолитовой поверхности в воде.

Таблица 2.5 – Угол трения покоя $\varphi_{п.с}^{\circ}$, корнеклубнеплодов по стеклотекстолитовой поверхности

Название	Параметры корнеклубнеплода			Вид движения корнеплода			
				по сухой поверхности $\varphi_{п.с}^{\circ}$		в воде $\varphi_{п.в}^{\circ}$	
	плотность, ρ_0 кг/м ³	диаметр, мм	длина, мм	вдоль продольной оси	поперек (перекачивание)	вдоль продольной оси	поперек (перекачивание)
Свёкла полусахарная	704	110	190	26	15	30	21-23
Картофель	657	75	145	23	20-21	28 корнеплод поворачивается поперек	14-15
Свёкла сахарная грязная	760	110	180	30	20-27	28 поворачивается	20-22 поворачивается перекачивается
Свёкла сахарная чистая	714,4	120	210	27	19-20	33 покачивается	18-22 катается, скользит, перекачивается
Свёкла столовая (красная)	772	120	170	22	26	38-40 катается, движется	23 поворачивается на 180°
Морковь	840	59	176	25	20	33	18

Картофель длиной 145 мм и свёкла сахарная грязная длиной 180 мм начинают поворачиваться, скользить, покачиваясь при угле наклона 28°. Причем это явление наблюдается у корнеплодов как хвостиком вниз, так и вверх. Это свойство желательно использовать для интенсификации самоочищения в установках, использующих жидкость для очистки корнеклубнеплодов.

Аналогичные результаты исследования поведения корнеклубнеплодов по поверхности из стекла не бьющегося (рисунок 2.10) (таблица 2.6).



Рисунок 2.10 – К определению угла трения клубнеплода на стекле небьющемся

Таблица 2.6 – Угол трения покоя $\varphi_{\text{п}}^{\circ}$, корнеклубнеплодов по стеклу небьющемуся

Название	Параметры корнеклубнеплода			Вид движения корнеклубнеплода			
				по сухой поверхности		в воде	
	плотность, ρ_0 кг/м ³	диаметр, мм	длина, мм	вдоль продольной оси	поперек (перекачивание)	вдоль продольной оси	поперек (перекачивание)
Свёкла полусахарная	704	110	190	9	5-7	23	18-20
Картофель	657	75	145	8-9	4-5	21-22	18-20
Свёкла сахарная грязная	760	110	180	10-16	8-10	20	18-20
Свёкла сахарная чистая	714,4	120	210	12-18	9-10	23	19-21
Свёкла столовая (красная)	772	120	170	11-13	10-11	25	21-22
Морковь	840	59	176	10	8	21	19

Результаты исследования поведения корнеклубнеплодов по ДВП водостойкой с полированной поверхностью приведены в таблице 2.7

Таблица 2.7 – Угол трения покоя $\varphi_{\text{п}}^{\circ}$ корнеклубнеплодов по ДВП водостойкой с полированной поверхностью

Название	Параметры корнеклубнеплода			Вид движения корнеклубнеплода			
				по сухой поверхности		в воде	
	плотность, ρ_0 кг/м ³	диаметр, мм	длина, мм	вдоль продольной оси	поперек (перекачивание)	вдоль продольной оси	поперек (перекачивание)
Свёкла полусахарная	704	110	190	23-26	10	23-25 поворачивается, перекачивается	19-21 перекачивается
Картофель	657	75	145	24-25	10-12	29	15
Свёкла сахарная грязная	760	110	180	25-28	21-25	30-31 сползает, перекачивается	17-19
Свёкла сахарная чистая	714,4	120	210	23-26	19-22	38	25-26
Свёкла столовая (красная)	772	120	170	27	20-28	37 медленно ползет, покачивается	32
Морковь	840	59	176	23	18	33	20

2.3 Описание схемы устройства и рабочего процесса гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

Из анализа полученных на разработанных приборах физико-механических свойств корнеклубнеплодов и классификации корнеклубнемоющих машин выбираем барабанный тип, как наиболее конструктивно простой и обеспечивающий обработку всех видов и размеров корнеклубнеплодов, а с целью увеличения производительности и качества мойки, устанавливаем на барабане нагнетательные ковши и задаем барабану режим центрифугирования, исходя из сказанного была разработана барабанная гидротурбинная корнеклубнемойка [59, 100] (Приложение А).

Гидротурбинная корнеклубнемойка (рисунок 2.11), включающая загрузочный и выгрузной лотки, корпус, резервуар с моющей жидкостью с установленным в нем, приводимым во вращение барабаном, разделенным на чередующиеся между собой нагнетательные и вытяжные секции, имеющие

отверстия, расположенные по окружности барабана, и лопасти, установленные вдоль одной из кромок отверстий под углом к поверхности барабана, при этом лопасти нагнетательных секций направлены навстречу вращению барабана, а лопасти в вытяжных секциях – в сторону вращения барабана, и сбрасыватель корнеклубнеплодов, расположенный в конце барабана, отличается тем, что все лопасти нагнетательных и вытяжных секций выполнены в виде сферической поверхности, при этом барабан имеет дополнительную секцию, установленную в конце барабана для удаления воды и загрязнителей с поверхности корнеклубнеплодов под действием центробежной силы, а сбрасыватель корнеклубнеплодов выполнен S-образной формы с углом входа в массу корнеклубнеплодов, равным $0 - 5^\circ$, с постепенным увеличением угла до значения, равного углу трения движения корнеклубнеплодов о материал сбрасывателя, после чего угол сбрасывателя на выходе массы корнеплодов с его поверхности снижается до $5 - 10^\circ$, кроме того, на входной части барабана радиально установлены торцевые ковши с возможностью изменять величину открытия за счет подвижного ограничительного диска и регулятора производительности.

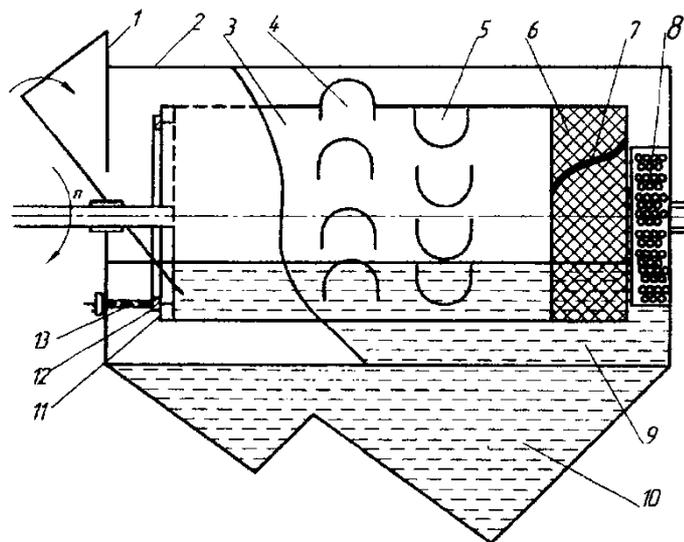


Рисунок 2.11 – Схема барабанной гидротурбинной корневомоей
 1 – загрузочный лоток; 2 – корпус резервуара; 3 – барабан; 4 секция нагнетания с ковшами; 5 – секция выбрасывания; 6 – секция обезвоживания; 7 – сбрасыватель корнеплодов; 8 – выгрузной лоток; 9 – вода; 10 – грязесборник; 11 – торцевые ковши; 12 – диск; 13 – регулятор

Установка работает следующим образом. Корнеклубнеплоды, идущие на обработку, поступают через загрузочный ковш 1 во вращающийся в воде барабан 3, расположенный в корпусе 2 резервуара. Под действием центробежных сил корнеклубнеплоды прижимаются к внутренним стенкам барабана нагнетательной секции 4. Ковшами 11 зачерпывается вода со стороны загрузочной воронки, и перемещают корнеклубнеплоды в сторону выгрузки. Ковши нагнетательной секции зачерпывают воду из резервуара 2 и обмывают обтекаемыми струями, прижатые к стенкам барабана 3 корнеклубнеплоды, которые под действием их и сил гравитации падают по криволинейной траектории в воду. Упавшие корнеклубнеплоды перемещаются продольными струями в секцию 5 выбрасывания. В ней струи воды омывают корнеклубнеплоды в радиальном направлении из барабана в резервуар с одновременным перемещением по оси в следующую нагнетательную секцию и т.д. Отмытые корнеклубнеплоды поступают в секцию 6, где освобождаются полностью от воды и загрязнителей. Здесь под действием центробежной силы корнеклубнеплоды поднимаются вверх до соприкосновения со сбрасывателем 7, который благодаря сложной геометрической форме плавно отделяет порцию отмытых корнеклубнеплодов, сообщает им направленную траекторию и плавно сбрасывает в выгрузной лоток 8.

В зависимости от степени загрязненности корнеклубнеплодов, вида почвы, её физического состояния устанавливают величину открытия ковшей 11 с помощью ограничительной шайбы 12 и регулировочного винта 13 задающего угол открытия ковшей, а следовательно массу поступающей воды для перемещения корнеклубнеплодов вдоль продольной оси, т.е. их скорость и время нахождения в жидкости – пропускную способность.

Выводы

1. Разработанные и изготовленные ресурсосберегающие приборы (RU 114146 U1; RU 117609 U1) позволили определить истинную и кажущую

плотность, центр тяжести, коэффициент трения, коэффициент качения корнеклубнеплодов по различным конструкционным материалам в воде.

2. Разработаны методики по определению физико-механических свойств корнеклубнеплодов в воде, которые позволили получить исходные данные и после статистической обработки свести их в таблицы и представить в виде графиков функции исходной загрязненности от длины, диаметра корнеклубнеплода и размеров корешковой канавки.

3. Разработана технологическая схема гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки, способной работать в режиме центрифугирования (RU 70086 U1).

4. Основными рабочими органами корнеклубнемойки являются ковши, имеющие возможность устанавливать козырьки под углом вхождения в воду $5-75^\circ$, обеспечивающим заданный объем и напор жидкостных струй, задающих качество мойки корнеклубнеплодов.

5. Разработано S-образное комбинированное, пространственное выгрузное устройство, позволяющее обеспечить заданную производительность, качество, сохранность целостности корнеклубнеплодов при выгрузке их из барабана, работающего в режиме центрифугирования (RU 87151 U1).

3 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА, КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАРАБАННОЙ ГИДРОТУРБИННОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ

3.1 Обоснование критериев эффективного использования энергетических потоков при подготовке корнеклубнеплодов

При подготовке корнеклубнеплодов на эффективность их использования существенное влияние оказывают следующие факторы: вид корнеклубнеплодов (кормовая свёкла, сахарная свёкла, морковь, картофель, топинамбур), вид загрязнителей (механические, почвенные), внешние климатические условия (температура, влажность), коэффициент трения, удельные затраты энергии, удельные затраты использованной воды, материалоемкость, удельные эксплуатационные затраты и цена машины для подготовки корнеклубнеплодов.

Все перечисленные многокритериальные факторы, воздействующие на корнеклубнеплод для их оптимальной очистки путем удаления загрязнителей до нормативных показателей, представим в виде основных материальных потоков поточных технологичных линий (ПТЛ) подготовки корнеклубнеплодов (рисунок 3.1).

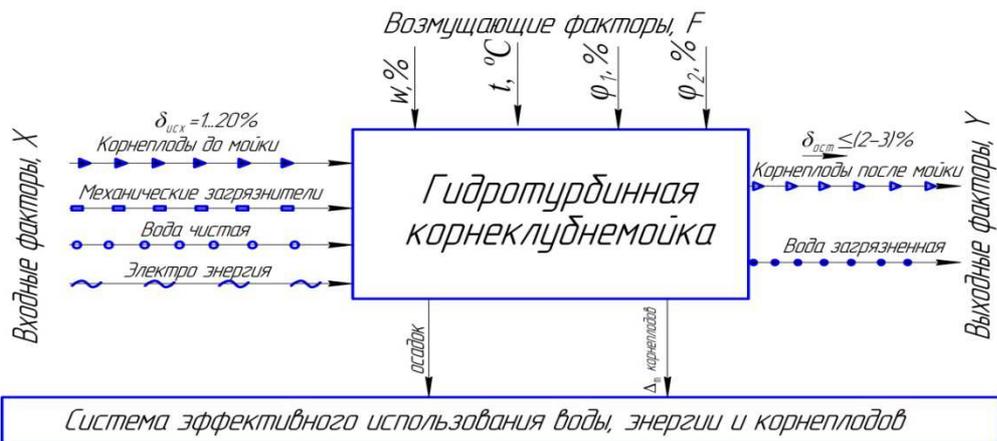


Рисунок 3—Функциональная модель основных материально - энергетических потоков в ПТЛ подготовки корнеклубнеплодов
 w – влажность загрязнителей, %; t —температура среды, °С; ϕ_1 —коэффициент трения корнеклубнеплодов по конструкционным материалам; ϕ_2 —коэффициент сопротивления сдвигу корнеклубнеплодов в воде; Δ_m —потери исходной массы корнеклубнеплодов, кг

Так как ПТЛ подготовки корнеклубнеплодов является преобразователем материальных, энергетических, информационных и других потоков, представим ее в виде многокритериального объекта управления.

Наиболее обобщенно данную ПТЛ представим в виде информационно-технологической модели (рисунок 3.2).

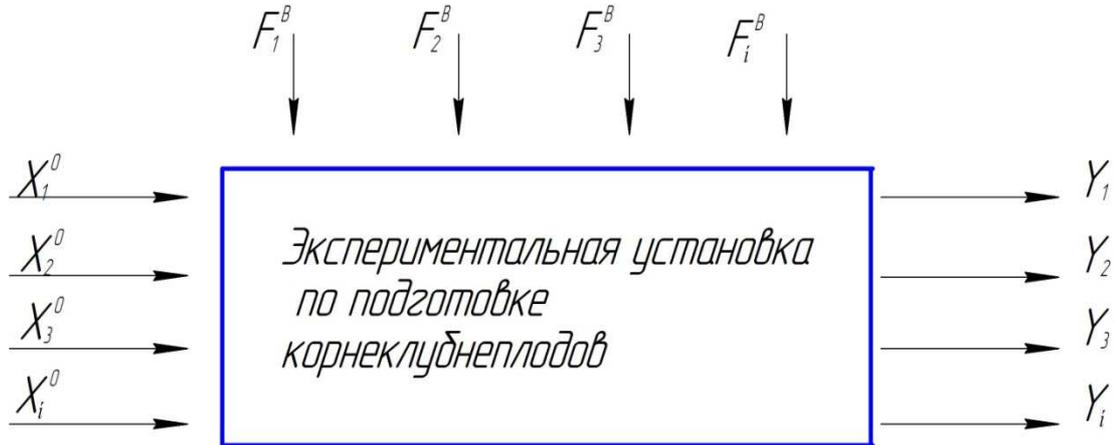


Рисунок 3.2–Модель взаимодействия материальных потоков в ПТЛ гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

На входе в корнеклубнемоечную машину действует векторная переменная управления X^0 потоком корнеклубнеплодов с переменными составляющими $X^0_1 \dots X^0_i$. К этим переменным относятся параметры входных масс загрязненных корнеклубнеплодов, не связанных механических загрязнителей, масса чистой воды, энергетические затраты на привод подающих механизмов корнеклубнеплодов в мойку, масса предварительно отделенных примесей и затраты энергии, характеризующие поступление загрязненных корнеклубнеплодов в мойку по отношению к востребованной массе вымытых и отделенных от механических примесей корнеклубнеплодов для животноводческой фермы с соответствующей подачей воды и т.п. В форме воздействий, характеризующих условия протекания технологического процесса по удовлетворению запрошенного объема вымытых корнеклубнеплодов, обозначена векторная функция F^B с составляющими $F^B_1 \dots F^B_i$. К ним относятся соответственно нарушения периодичности отбора готовых корнеклубнеплодов, вызванные неравномерностью графика

движения стада, переменными составляющими физиологического состояния животных, уборки осадка, отсутствием автоматических приборов контроля по загрязненности воды в ванне и, как следствие, субъективным подходом оператора к этим процессам и др. Производительность корнеклубнемоечной машины следует определять не чистой массой обработанных корнеклубнеплодов в единицу времени, а с учетом массы отделенных загрязнителей и поврежденных элементов корнеклубнеплодов. По традиционному подходу переменные состояния работоспособности корнеклубнемоечной машины опишем вектором Y с составляющими $Y_1 \dots Y_i$, которые характеризуют производительность корнеклубнемоечной машины по готовому продукту *с учетом отделенной массы загрязнителя и поврежденных частей корнеклубнеплодов.*

Размерность векторов X^0 , F^B , Y для технологического процесса мойки корнеклубнеплодов разнообразна (кг/с, кВт/ч, чел.- ч, м³/ч, руб./ц и т.д.), и учесть все их составляющие объективно сложно. Поэтому только часть из них учитывается при контроле и управлении технологическими процессами мойки корнеклубнеплодов и они рассматриваются как случайные функции [20, 61, 62, 63].

Значение составляющих векторов переменных состояний Y зависит от составляющих векторов X^0 , F^B , которые могут рассматриваться как следствие технологических процессов всего цикла получения животноводческой продукции. По отношению к каждой из составляющих вектора переменных состояний Y компоненты векторов X^0 , F^B могут интерпретироваться как причины, влияющие на вектор переменных состояний объекта управления. Следовательно, векторы X^0 , F^B можно объединить в одну группу входных переменных, описываемых вектором X , поэтому корнеклубнемоечную машину по подготовке корнеклубнеплодов можно представить в виде модели, на входе которой действует векторная случайная функция X , а на выходе формируется векторная функция Y , качественные критерии которой должны соответствовать «банку» запроса потребителя. На выходе из

корнеклубнемоечной машины можно теоретически получить вектор Y , соответствующий запрашиваемой массе $m_{ч.к.}$ – чистых корнеклубнеплодов под определенную продуктивность животных и их поголовье, обслуживаемое экспериментальной корнеклубнемоечкой на ферме по формуле

$$Y = m_{ч.к.} = \sum(n_{ж} m_{сут}), \quad (3.1)$$

где \sum – сумма;

$n_{ж}$ – поголовье половозрастной группы животных, гол.;

$m_{сут}$ – суточная масса корнеклубнеплодов в рационе рассматриваемой половозрастной группы животных, кг/гол.

Фактически моечная машина должна выдать большее количество массы корнеклубнеплодов на величину допустимой остаточной загрязненности $\delta_{ост}$, чтобы не нарушить энергетическую ценность рациона

$$Y_{вых} = m_{ч.к.} = \frac{\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{ост})}{100}, \quad (3.2)$$

где $\delta_{ост}$ – допустимая по зоотехническим нормам остаточная загрязненность корнеклубнеплодов, находится в пределах 2 – 3 % [22].

На входе в корнеклубнемоечную машину векторные составляющие $X_1^0 \dots X_i^0$ включают весь ворох корнеклубнеплодов с его загрязнением $\delta_{исх}$ до 20 %. Следовательно, корнеклубнемоечная машина должна переработать массу вороха $n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх})$, чтобы выдать массу готового продукта равную $\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{ост} + \Delta_m) / 100$.

Потерями исходной массы Δ_m являются обломки корешков, сколы, масса растворенных питательных веществ, которые пропорционально зависят от времени t нахождения корнеклубнеплодов в воде рабочего объема барабана.

Такое представление корнеклубнемоечной машины по подготовке запрошенного качества корнеклубнеплодов дает возможность формально рассматривать ее как объект, в котором случайные функции переменных (вид корнеклубнеплода, его размеры, коэффициент загрязненности, особенности

загрязнителей, коэффициент сдвигу загрязнителя с корнеклубнеплода, показатель растворимости в воде загрязнителя и др. факторы) управления $X_i (i=1, \dots, n)$ преобразуются в выходные случайные функции переменных состояния $Y_i (i=1, \dots, m)$. Каждая из переменных состояния Y_i , несмотря на их вероятностный характер, полностью определяется переменными управления X_i и должна управлять массой и качеством запрошенного продукта.

Представим корнеклубнеплодную машину как систему, осуществляющую направленное воздействие сил гравитации, центробежных и других сил на ворох корнеклубнеплодов с целью изменения его свойств до зоотехнических норм, выполняемое в самой машине, и стадо как центральный объект, производящий запрошенную продукцию животноводства.

На входе в корнеклубнеплодную машину векторная переменная управления $X_{\text{заг}}$ загрузочной массой $m_{\text{заг. кор.}}$ выражается уравнением:

$$Y_{\text{загр}} = m_{\text{заг. кор.}} = \frac{\sum n_{\text{ж}} m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{исх}} + \Delta_m)}{100}, \quad (3.3)$$

где $\delta_{\text{исх}}$ – исходная загрязненность корнеклубнеплодов (вороха), %;

Δ_m – потери исходной массы корнеклубнеплодов в виде сока, отломленных корешков, отделенных частиц корнеклубнеплодов и др., %.

Как видно из уравнения (3.3), потоки ресурсов корнеклубнеплодных машин различного типа, оцениваются одним показателем выхода конечного продукта, в то время как технологический процесс очистки и мойки корнеклубнеплодов складывается из особенностей физико-механических свойств загрязнителей, например песчаная почва на кормовой свёкле или суглинистая почва на сахарной свёкле. В первом варианте загрязнитель по мере хранения в когатах осыпается с корнеклубнеплодов и значительной массой отделяется при транспортировании к корнеклубнеплодам. Во втором варианте по мере хранения корнеклубнеплодов загрязнитель прочнее скрепляется с корнеклубнеплодом и хуже растворяется и более длительно смывается с него водой, требуя многократного перетиравания, а следовательно, затрат энергии, времени, снижая пропускную способность вызывая потери

исходной массы. Поэтому, на наш взгляд, **корнеклубнемоечную машину следует характеризовать** следующими показателями: производительность выражать массой вымытых корнеклубнеплодов, массой отмытого загрязнителя, потерей исходной массы, удельными затратами энергии, удельными расходами воды, занимаемыми производственным объемами моечной установки.

Исходя из сказанного, производительность Q (кг/с) корнеклубнемоечной машины выразили в виде

$$Q = \frac{\sum n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх} + \Delta_m)}{T_p \cdot 100}, \quad (3.4)$$

где T_p – продолжительность востребованного технологического цикла, ч.

При построении модели системного эффективного использования энергоносителей, для работы с разными потоками: корнеклубнеплодов, воды, электричества, загрязнителей, человеческого труда, материалов используются различные единицы измерения их величин, поэтому для аналитической обработки целесообразно выражать их эквивалентным показателем, например, Джоулем [6, 63, 64, 65].

Наименее исследованной системой потоков для корнеклубнемоечных машин является поток загрязнителей с учетом их физико-механических свойств, проявляемых в жидкой среде [23, 57, 60]. Данный поток в силу своей важности влияния на показатели качества конечного продукта, в том числе и ресурсоемкость, может быть представлен как отдельный многокритериальный фактор, исследование которого необходимо проводить на принципиально новых приборах, оборудовании и методик, позволяющих изучить свойство корнеклубнеплодов в жидкой среде [34, 57], а также влияние движения жидкости во вращающемся барабане.

3.2 Потенциальная возможность теплонасыщения конечного продукта

Для достижения поставленной цели, повышения эффективного использования корма и снижения удельных затрат на мойку

корнеклубнеплодов необходимо установить закономерности преобразования входных потоков энергоносителей (рисунок 3.1) в энергосодержание конечного продукта.

Известно, что наиболее энерго- и ресурсоемким технологическим процессом является процесс кормления животных и поддержания микроклимата в помещении [31]. Для управления данным ресурсоемким процессом разработаны специальные программы, сочетающие компьютерные системы эффективного использования энергоносителей при производстве мяса, молока и другой продукции животноводства. Необходимая технологическая информация вносится в базу данных с помощью автоматизированных рабочих мест (АРМ) с информационно-измерительными преобразователями (ИИП). Полученная информация используется для моделирования стада, микроклимата, составления оптимальных рационов [66], состава кормосмеси, а также времени раздачи кормов. При этом осуществляется системный подход к организации потоков энергии, ресурсов для их учета и доставки до адресата, т.е. конкретного животного, с оптимальными параметрами.

Здесь центральным объектом является животное как преобразователь энергетических, трудовых и других ресурсов в качество конечного продукта. В разработанных математических моделях к каждому животному предъявляются ряд требований: в первую очередь, модель должна позволять прогнозировать продуктивность и требуемое энергосодержание корма на любой период времени. В разработанных моделях [2, 67, 68, 69, 70] учитывается потенциальная продуктивность животных в зависимости от температуры в помещении, массы животного и других факторов. Исходными составляющими рациона для крупного рогатого скота и свиней являются большие массы корнеклубнеплодов, силоса и др. Эти корма в хранилищах имеют температуру + 5...15 °С, а в процессе транспортирования, мойки, смешивания и других операций их температура зимой опускается за нулевую отметку и при скармливании такого корма животные простужаются, снижая

продуктивность, заболевают и наблюдаются случаи абортации. Поэтому корнеклубнеплоды целесообразно мыть в теплой воде, повышающей их температуру, что делает их, как показала практика, более комфортными и энергонасыщенными, с одной стороны, а также обеспечивающими более эффективное размягчение и отделение загрязнителей от корнеклубнеплодов. В теплой воде, по нашим наблюдениям, быстрее растворяются и в большем количестве глина, чернозем и другие виды почвы, находящиеся на поверхности корнеклубнеплодов, при этом они более интенсивно отделяются от корнеклубнеплодов без их повреждения.

Расчет необходимого количества тепла Q_{Σ} , как самостоятельного энергетического потока, выразим уравнением:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{кор}} + Q_{\text{загр}} + Q_{\text{вод}} + Q_{\text{маш}}, \quad (3.5)$$

где $Q_{\text{кор}}$ – потребность энергии для нагрева корнеклубнеплодов, Дж;

$Q_{\text{загр}}$ – потребность энергии для нагрева загрязнителей, Дж;

$Q_{\text{вод}}$ – потребность энергии для нагрева моющей воды, Дж;

$Q_{\text{маш}}$ – потребность энергии для нагрева моечной машины, Дж.

В свою очередь, каждая составляющая (3.5), является функцией других составляющих.

Потребность энергии $Q_{\text{кор}}$ для нагрева корнеклубнеплодов составит

$$Q_{\text{кор}} = m_{\text{кор}} \cdot c_{\text{кор}} \cdot K_{\text{с}_{\text{кор}}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}), \quad (3.6)$$

где $m_{\text{кор}}$ – масса корнеклубнеплодов, подготовленных к выдаче, соответствующая плановой продуктивности принятой для конкретной животноводческой фермы, кг;

$c_{\text{кор}}$ – удельная теплоемкость i вида корнеклубнеплодов, Дж/(кг К) [70].

Для кормовой свёклы $c_{\text{кор}} = 13,84$ Дж/(кг К), для картофеля 13,00 Дж/(кг К);

$K_{\text{с}_{\text{кор}}}$ – коэффициент потери тепла конвекцией за время хранения готового корма [70];

$t_{\text{в}}$ – время хранения корнеклубнеплодов от подготовки до выдачи, с. По зоотехническим нормам оно не должно превышать 4 часов [8, 21, 70].

Назначенное время t_b хранения корнеклубнеплодов установлено, исходя из их сохранности (самонагревание или замерзание). Это время следует сократить до 1 часа с целью сохранения аккумулированного тепла и качества в подготовленном корме.

t_k, t_n – температура продукта соответственно вначале процесса обработки и в конце, град.

Потребность энергии для нагрева $Q_{\text{заг}}$ загрязнителей

$$Q_{\text{заг}} = \frac{m_{\text{кор}}(100 + \delta_{\text{исх}})}{100} \cdot c_{\text{заг}}(t_2 - t_1) = m_{\text{заг}} c_{\text{заг}}(t_2 - t_1), \quad (3.7)$$

где $m_{\text{заг}}$ – масса загрязнителя, кг;

$c_{\text{заг}}$ – усредненная удельная теплоемкость загрязнителя, Дж/(кг·°К);

t_2, t_1 – температура загрязнителя соответственно в начале процесса и в конце, °К.

Потребность энергии для нагрева $Q_{\text{вод}}$ воды

$$Q_{\text{вод}} = m_b c_b \varepsilon(t_2 - t_1), \quad (3.8)$$

где m_b – масса воды для мойки корнеклубнеплодов, кг.

c_b – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°К);

ε – коэффициент, учитывающий изменение теплоемкости воды от степени загрязненности;

t_2, t_1 – температура воды соответственно вначале процесса и в конце, °К.

Количество теплоты $Q_{\text{маш}}$, необходимой для нагрева корнеклубнемойки и теряемое в окружающую среду определяется по формуле

$$Q_{\text{маш}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ср}}, \quad (3.9)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – количество теплоты, необходимой для нагрева корнеклубнемойки, Дж;

$Q_{\text{ср}}$ – количество теплоты, необходимой для компенсации потерь в окружающую среду машиной, Дж.

$Q_{\text{ст}}$ определяется по формуле

$$Q_{\text{ст}} = G_{\text{ст}} c_{\text{ст}}(t_2 - t_1), \quad (3.10)$$

где $G_{\text{ст}}$ – масса корнеклубнемойки, кг;

$c_{ст}$ – удельная теплоемкость стенок корнеклубнемойки, Дж/(кг·°К).

$Q_{ср}$ находится по формуле

$$Q_{ср} = F \beta t_p (t_2 - t_1), \quad (3.11)$$

где F – площадь поверхности корнеклубнемойки соприкасающаяся с внешней средой, м²;

β – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К).

Следовательно, повысить рентабельность животноводческой продукции можно за счет снижения затрат ресурсов на мойку корнеклубнеплодов путем повышения их эффективности от скармливания через дополнительно полученную продукцию за счет подведенного тепла с рекуперационной водой.

3.3 Теоретическое обоснование параметров барабана гидротурбинной корнеклубнемойки

3.3.1 Производительность и выбор режима работы установки

Известно, что производительность Q (кг/ч) аналога барабанной машины [30, 71] выражается уравнением

$$Q = 60nm_qz_q, \quad (3.12)$$

где n – частота вращения барабана, мин⁻¹;

m_q – масса корнеклубнеплодов, выгружаемая одним черпаком за оборот барабана, кг;

z_q – количество выгрузных черпаков в барабане, шт.;

Критическая частота $n_{кр}$ вращения барабана определяется по формуле

$$n_{кр} \approx \frac{30}{\sqrt{R_б}}, \quad (3.13)$$

где $R_б$ – радиус барабана, м.

При вращении барабана с таким режимом работы корнеклубнеплоды со средним r_k – радиусом поднимаются по внутренней стенке за счет сил трения от точки А до точки Б (рисунок 3.3а) и ссыпаются под углом естественного

откоса φ_0 при толщине слоя $h_{\text{ср}}$, перекатываются друг по другу, счищая слой загрязнителя, омываются в воде и вновь увлекаются барабаном во вращение.

Как видно из рисунка 3.3а, корнеклубнеплоды участвуют в мойке путем перетирания только по длине хорды АБ, а весь остальной объем пассивно

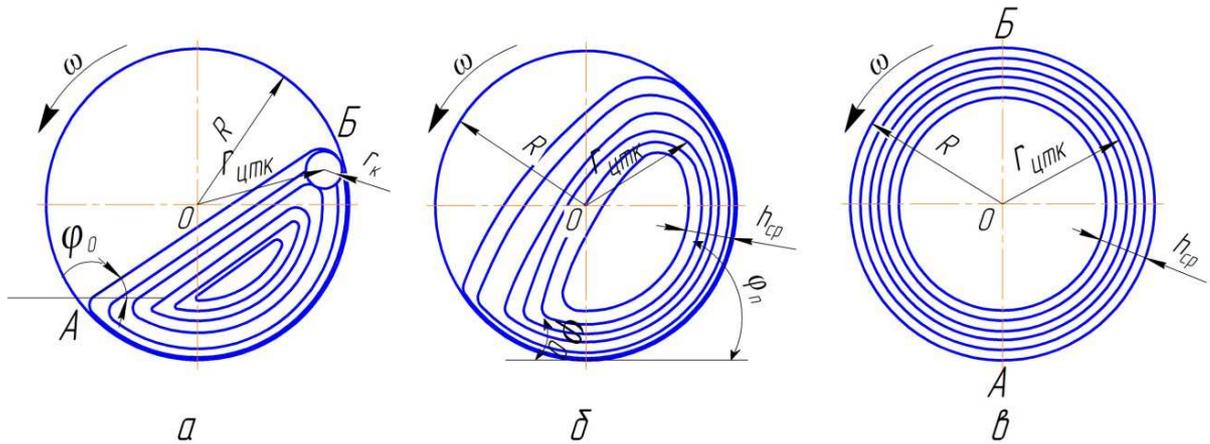


Рисунок 3.3—Схема движения корнеклубнеплодов в барабане в зависимости от частоты вращения

а – частота вращения равна $0,45n_{\text{кр}}$; б – частота вращения равна $n_{\text{кр}}$; в – частота вращения $n > n_{\text{кр}}$; $R_{\text{б}}$ - радиус барабана; $r_{\text{к}}$ - радиус корнеклубнеплода; $r_{\text{цтк}}$ - радиус центра тяжести корнеклубнеплодов; $h_{\text{ср}}$ – средняя толщина слоя корнеклубнеплодов

перемещается снизу вверх, занимая излишние объемы. Для интенсификации работы корнеклубнемоечной машины, частота вращения барабана может быть увеличена до $n = n_{\text{кр}}$ [42]. При этом часть корнеклубнеплодов, наиболее удаленных от центра барабана, при традиционной технологии переходит за критическую высоту точки Б (рисунок 3.3б) и, не отрываясь от стенки барабана, вовлекается в следующий оборот, что снижает пропускную способность машины и ведет к нерациональным расходам энергии и травмированию корнеклубнеплодов.

В экспериментальной установке частоту вращения барабана принимаем $n_{\text{опт}} > n_{\text{кр}}$ (рисунок 3.3в), при которой все корнеклубнеплоды будут вовлечены в непрерывное вращательное движение, имея среднюю толщину $h_{\text{ср}}$ по всему периметру – режим центрифугирования, требующий нового конструктивного подхода для вовлечения их во взаимное перемещение.

Для интенсификации технологического процесса мойки корнеклубнеплодов необходимо сократить время пребывания их в рабочей части барабана путем переменного воздействия на них водяных струй созданных нагнетательными ковшами. Это обеспечивает повышение эффективности мойки корнеклубнеплодов при достаточно большой частоте вращения барабана установки [27, 42, 72].

Коэффициент заполнения барабана φ рекомендуют [8, 25, 71] принимать 0,25 – 0,35. Полезный объем в известных типах моечных установок используется нерационально, занимая большие производственные объемы зданий, увеличивая эксплуатационные расходы. Производительность барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки определится зависимостью

$$Q_э = 3600\varphi_э\pi R_б^2 v_т \rho_{к.в} K_э, \quad (3.14)$$

где $Q_э$ - производительность барабанной корнеклубнемойки, кг/ч;

$\varphi_э$ – коэффициент заполнения объема экспериментального барабана больше коэффициента заполнения барабана φ известных корнеклубнемоек. $\varphi_э > \varphi$, т. е. (0,35 - 0,4) > (0,25 - 0,35). Принимаем $\varphi_э = 1/3$;

$v_т$ – скорость транспортирования корнеклубнеплодов в ванне, м/с;

$\rho_{к.в}$ – плотность обрабатываемых корнеклубнеплодов в воде, кг/м³;

$K_э$ – коэффициент воздействия водяных струй на качественные показатели обработанных корнеклубнеплодов, который определяется экспериментально и зависит от скорости водяного потока и площади его поперечного сечения $K_э = 1,1-1,3$.

Эта зависимость не учитывает загрязненность, вид загрязнителя корнеклубнеплодов, время активного воздействия рабочих органов (рабочей жидкости) машин и ряд других факторов.

Теоретический объем разрабатываемого барабана V_p корнеклубнемойки [42] выразится зависимостью

$$V_p = \frac{Q_э \cdot t_э}{\varphi_э K_э \rho_{к.в}}, \quad (3.15)$$

где t_3 – время пребывания корнеклубнеплодов в воде экспериментальной установки, мин.

Приравнявая уравнение (3.4) с преобразованным (3.15) при условии нахождения в ПТЛ мойки корнеклубнеплодов одной машиной, получим

$$\frac{\sum n_{\text{ж}} m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{исх}} + \Delta_m)}{100 T_p} = \frac{V_p \varphi_{\text{э}} \rho_{\text{к.в}} K_{\text{э}}}{t_3}.$$

Из этого уравнения определим объем рассчитываемого барабана V_p

$$V_p = \frac{\sum n_{\text{ж}} m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{исх}} + \Delta_m) t_3}{100 T_p \varphi_{\text{э}} \rho_{\text{к.в}} K_{\text{э}}}. \quad (3.16)$$

Для востребованной производительности, принимая диаметр барабана равным $D = 0.6$ м как наиболее распространенный в известных отечественных и зарубежных барабанных установках, найдем его длину L_6

$$L_6 = \frac{\sum n_{\text{ж}} m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{исх}} + \Delta_m) t_3}{100 T_p \varphi_{\text{э}} \rho_{\text{к.в}} K_{\text{э}} F_6}, \quad (3.17)$$

где $F_6 = \pi D^2 / 4$ – площадь поперечного сечения барабана, м.

В действительности во внутренней полости барабана корнеклубнеплоды распределяются с «разной плотностью»: на входе плотность вороха ρ_1 составляет 500–750 кг/м³, в воде погруженные корнеклубнеплоды имеют плотность $\rho_2 = 80$ –300 кг/м³, корнеклубнеплоды, вовлеченные барабаном выше уровня воды, имеют плотность $\rho_3 = 1050$ –1100 кг/м³, масса загрязнителей, находящихся на корнеклубнеплодах, имеет плотность ρ_4 более 1000 кг/м³. Чистая вода, поступающая в барабан, имеет плотность, равную $\rho_5 = 1000$ кг/м³, и по мере ее контакта с корнеплодами во время продвижения от загрузки до выгрузки происходит ее приращение за счет загрязнителя до $\rho_6 = 1100$ кг/м³.

Разработанная гидротурбинная корнеклубнемойка позволит:

- повысить производительности и качество очистки корнеклубнеплодов за счет сокращения времени пребывания корнеклубнеплодов в моечном барабане:

- уменьшить объем корнеклубнемойки и снизить её материалоемкость;

– уменьшить количество подводимой воды на единицу обрабатываемой продукции путем активного воздействия водяных струй на нее;

– сохранение аккумулированного тепла в подготовленных корнеклубнеплодах за счет уменьшения времени хранения от подготовки до раздачи;

Позволит увеличить производительность корнеклубнемойки, концентрацию обменной энергии кормового рациона на 5–8 % и соответственно продуктивности животных за счет дополнительно подведенной энергии [67, 73, 74, 75, 76] выраженной уравнением.

$$Q_m = K_{см}^{-1} Y_{пт} E_m, \quad (3.18)$$

где $K_{см}^{-1}$ – коэффициент использования обменной энергии на синтез молока;

$Y_{пт}$ – планируемая молочная продукция животного с учетом влияния температуры окружающей среды, кг;

E_m – энергетическая ценность молока, МДж/кг.

Для разработанного барабана, оснащенного нагнетательными ковшами [59], определим объем моечной ванны $V_{ван}$ гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки (рисунок 3.4), обеспечивающей оптимальный технологический процесс мойки корнеклубнеплодов:

$$V_{ван} = V_{э.б.} + V_{ков} + V_{уд.в} + V_{вод} + V_{пас}, \quad (3.19)$$

где $V_{э.б.}$ – объем, занимаемый экспериментальным барабаном, с учетом секции удаления воды и загрязнителей, м³;

$V_{уд.в}$ – объем секции удаления воды и загрязнителей с поверхности корнеклубнеплодов, совмещающей процесс выгрузки готового продукта, м³;

$V_{ков}$ – условный объем, занимаемый ковшами, м³;

$V_{вод}$ – объем технологической воды в ванне, м³;

$V_{пас}$ – объем пассивного пространства корнеклубнемойки, м³.

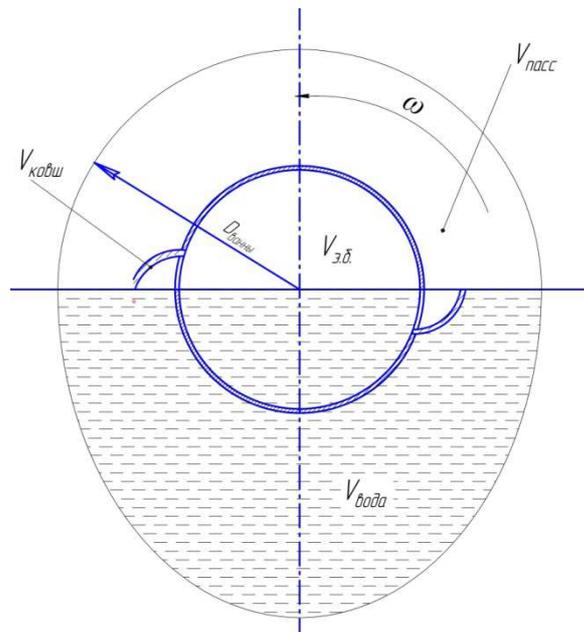


Рисунок 3.4 – Схема к расчету объема моечной ванны гидротурбинной корнеклубнемойки

При этом $V_{\text{ков}}$ определяется по формуле

$$V_{\text{ков}} = V_{1 \text{ ков}} Z_{\text{ков}} \eta_{\text{ков}}, \quad (3.20)$$

где $V_{1 \text{ ков}}$ – объем, занимаемый максимально раскрытым ковшом, м^3 ;

$Z_{\text{ков}}$ – количество ковшей на барабане, шт.;

$\eta_{\text{ков}}$ – коэффициент использования объема ковша.

Объем, занимаемый ковшами, складывается из условия отталкивания слоя корнеклубнеплодов от внутренней стенки барабана.

Корнеклубнеплоды вместе с водой при заданной безразмерной частоте ω – отношения времени воздействия к характеру времени переноса импульса и высоких значениях осцилляционного воздействия Γ при установившемся коэффициенте заполнения барабана ϕ располагаются в виде сегмента (рисунок 3.5), ограниченного хордой АВ, которая является основанием $\triangle AOB$ с углом α при вершине в центре окружности О барабана. В данном режиме только часть корнеклубнеплодов всего объема сегмента перекачивается по хорде АВ, а остальные корнеклубнеплоды пассивно перемещаются вдоль дуги АсВ.

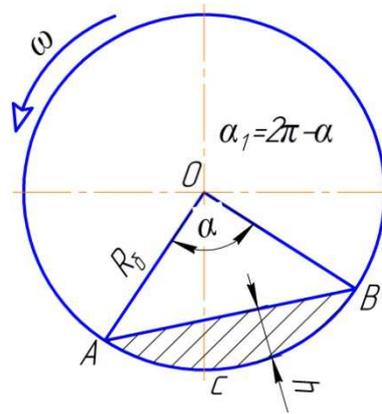


Рисунок 3.5 – Схема расположения корнеклубнеплодов с водой в барабане

Чтобы интенсифицировать процесс очистки корнеплодов, необходимо увеличить частоту смены поверхности АВ путем увеличения частоты вращения барабана с одновременным разрушением целостности объема сегмента струями воды из ковшей со стороны ванны и одновременно исключить их центробежное вращение во внутренней части барабана. При этом необходимо соблюдать условие, чтобы вся энергия водно-корнеплодной массы сегмента $m_{\text{кор}}$ во вращающемся барабане была отброшена отталкивающей энергией массы воды $m_{\text{вод}}$, созданной нагнетательными ковшами, выраженной уравнением

$$m_{\text{кор}} \cdot \omega_{\text{кор}}^2 \cdot r_{\text{ц.т.к.}} < m_{\text{вод}} \cdot \omega_{\text{вод}}^2 \cdot r_{\text{ц.т.в.}}, \quad (3.21)$$

где $m_{\text{кор}}$, $m_{\text{вод}}$ – масса корнеклубнеплодов и воды в сегменте, кг;

$\omega_{\text{кор}}$, $\omega_{\text{вод}}$ – угловая скорость центра тяжести сегмента включающего корнеклубнеплодов с водой, рад/с.

Для оптимизации технологического процесса работы гидротурбинной корнеклубнемойки условно поделим внутреннюю часть барабана (рисунок 3.6) на n равных сегментов с хордами 1, 2; 2, 3; 3, 4; и т. д. [77] из условия равномерного заполнения барабана продуктами.

Для удобства инженерного расчета длина этих хорд должна быть скорректирована и стать кратной 3, 6, 12, 24 или 4, 8, 16, 32 и т.д.

Точки деления окружности барабана соединим с центром O , в результате чего получим правильный вписанный многоугольник с центральными углами α .

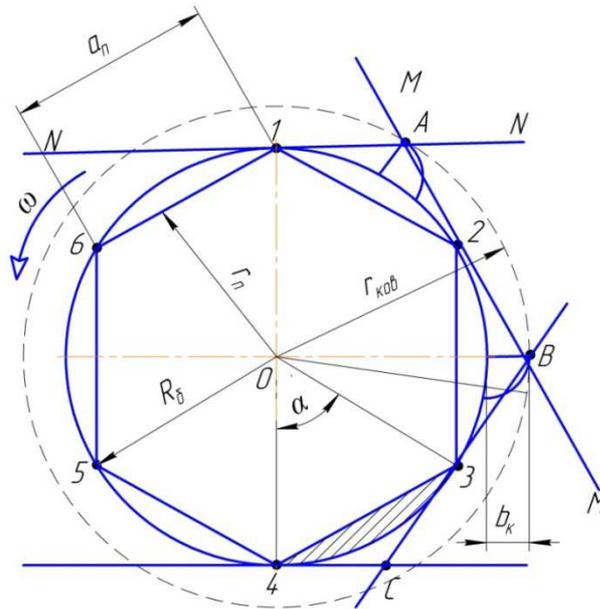


Рисунок 3.6 – Схема расположения сегментов, заполненных корнеклубнеплодами с водой вписанных в барабан с R_b гидротурбинной корнеклубнеплоды и описанных траекторией нагнетательных ковшей $r_{ков}$

Соблюдая принятые условия о равномерности воздействия массы воды из ванны на массу корнеклубнеплодов с водой в сегментах барабана, необходимо равномерно распределять нагнетательные ковши по поверхности барабана с радиусом R_b и длиной барабана L_b , путём построения описанного многоугольника вокруг той же окружности барабана. Для этого окружность барабана поделили на n равных частей, отмеченных точками (А, В, С, D, E, F), приходящимися на середину сегмента с h_{max} . От каждой из них провели касательные $N-N$, $M-M$ и т.д. к окружности. Ограничили каждую из касательных точками их пересечения с касательными, проведенными в соседних точках деления 1, 2, 3, 4, 5, 6. Получили правильный многоугольник, описанный около окружности барабана, с радиусом ковшей $r_{ков}$, большим R_b на $b_к$, равную высоте ковша с вершинами треугольников в одном центре O .

Стороны и углы многоугольника равны, так как каждая из них как угол между касательными измеряется полуразностью дуг, из которых меньшая

всегда равна $1/n$ части окружности. Равенство сторон видно из равенства треугольников $A_1 B_1 C_1$, $B_2 C_2 D_2$ и т.д. Все они равнобедренные, имеют равные углы при вершинах и равные основания. Полученные два правильных n -угольника с одинаковым числом сторон подобны. Следовательно, в барабане с выступающими за его пределы ковшами по контуру описанного многоугольника и вписанной окружности из одного общего центра O радиусом описанной окружности $r_{\text{ков}}$ радиус вписанной окружности R_6 является апофемой. Из законов математики известно, что апофема R_6 всегда меньше радиуса $r_{\text{ков}}$, поэтому приоритет между расстоянием до вершины ковшеи при заданном n правильного многоугольника определен с точностью до подобия. Отношения между стороной, апофемой и радиусом будут зависеть только от n . Угол α между радиусами, проведенными из центра O , в соседние вершины вписанного и описанного многоугольников равен $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$. По известным выражениям [77] находим одну из следующих составляющих r_n, a_n, R_6

$$r_n = R_6 \cos \frac{180^\circ}{n}; \quad a_n = 2R_6 \sin \frac{180^\circ}{n}; \quad \frac{a_n^2}{4} + r_n^2 = R_6^2. \quad (3.22)$$

Зная две величины ($R_6 = 300$ мм и $n = 6$ шт.) (рисунок 3.7) корнеклубнемои, нашли третью неизвестную составляющую по аналогии для правильного шестиугольника, вписанного в окружность с радиусом многоугольника $r_{\text{ков}}$, как наиболее оптимального варианта расположения ковшеи на барабане.

Рассматривая (3.21), видим, что масса корнеклубнеплодов и масса воды в пределах сектора $m_{\text{сек}}$ (рисунок 3.5) составляет

$$m_{\text{сек}} = V_6 \varphi_6 (K_{\text{кор}} \rho_{\text{кор.в}} + K_{\text{вод}} \rho_{\text{вод.б.}}), \quad (3.23)$$

где V_6 – объем барабана корнеклубнемои, м^3 ;

φ_6 – коэффициент заполнения барабана корнеклубнеплодами.

Рассматриваем его в пределах $\varphi_6 = 0,35 - 0,4$;

$K_{\text{кор}}$ – коэффициент, учитывающий отношение корнеклубнеплодов в сегменте к его объему. Принимаем $K_{\text{кор}}=2/3$;

$K_{\text{вод}}$ – коэффициент заполнения водой сегмента. $K_{\text{вод}}=1/3$;

$\rho_{\text{кор.в}}$ – плотность корнеплодов в воде (экспериментальные данные), кг/м^3 ;

$\rho_{\text{вод.б.}}$ – плотность воды в барабане с i % загрязненностью, кг/м^3 .

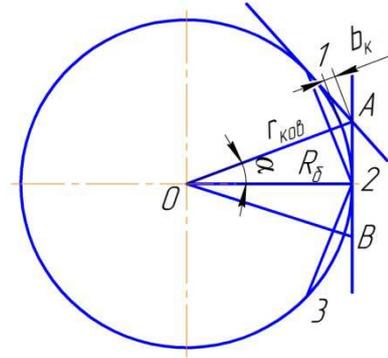


Рисунок 3.7 – Схема к теории определения высоты b_k нагнетательного ковша

Корнеклубнеплоды с водой под действием центробежных сил P_{mc} в расчетном секторе с длиной l_c прижимаются к периферийной стенке барабана

$$P_{mc} = \frac{\pi^2 n^2}{30^2} l_c F_b \varphi_b 2 \left(K_{\text{кор}} \rho_{\text{кор.в}} (R_b - r_{\text{кор}})^2 + K_{\text{в}} \rho_{\text{вод.б.}} R_b^2 \right). \quad (3.24)$$

Масса воды, зачерпываемая ковшами из ванны, под действием центростремительных сил прогоняется через слои корнеклубнеплодов и отталкивает их от стенки барабана.

$$m_{\text{вк}} = \frac{\pi^2 n^2}{30^2} a_k b_k \varphi_{\text{н.к.}} (R_b + b_k) \rho_{\text{вод.б.}} Z_{\text{ков.}} \quad (3.25)$$

Откуда частота вращения барабана ω_b будет

$$\omega_b = \sqrt{\frac{m_{\text{вк}}}{a_k b_k \varphi_{\text{н.к.}} (R_b + b_k) \rho_{\text{вод.б.}} Z_{\text{ков.}}}}, \quad (3.26)$$

где b_k – высота ковша, м. Принимаем $b_k = d_{\text{к.min}}$,

$d_{\text{к.min}}$ – минимальный размер диаметра корнеплода (клубнеплода), поступающего на обработку, м. Это требование основано на том, чтобы исключить проскакивание мелких корнеклубнеплодов через нагнетательные ковши в ванну.

В свою очередь, количество ковшей на барабане корнеклубнемойки должно быть равно

$$Z_{\text{КОВ}} = \frac{m_{\text{ВК.СЕК}}}{a_{\text{К}} \cdot b_{\text{К}} \cdot \varphi_{\text{Н.К.}} (R_{\text{Б}} + a_{\text{К}}) \rho_{\text{ВОД}}}. \quad (3.27)$$

Для получения более равномерного потока водяных струй необходимо провести удваивание сторон многоугольника, соответственно сохраняя параметры $a_{\text{К}}$ и $b_{\text{К}}$.

Удельное воздействие водяных струй на корнеклубнеплоды определяется по формуле

$$\Omega = \frac{n Z_{\text{КОВ}}}{Q_3 t}, \quad (3.28)$$

где Ω – количество воздействий водяных струй на тонну корнеплодов в час;

n – частота вращения барабана, мин^{-1} ;

$Z_{\text{КОВ}}$ – количество нагнетательных ковшей, шт;

t – время нахождения корнеплодов в воде, мин;

Q – производительность корнеклубнемойки, т/ч.

С другой стороны, высота ковша $b_{\text{К}}$ находится из составляющих двух правильных многоугольников, один из которых вписан в окружность барабана, а другой описан вокруг неё

$$b_{\text{К}} = r_{\text{КОВ}} - R_{\text{Б}}. \quad (3.29)$$

Все корнеклубнеплоды внутри барабана, от секции загрузки l_1 , перемещаются к секции удаления воды и загрязнителей l_4 . Здесь происходит окончательное удаление механических примесей и воды в ванну под действием центробежных сил.

Рабочую площадь $S_{\text{уд}}$ секции l_4 можно определить по формуле

$$S_{\text{уд}} = 2 \pi R_{\text{Б}} l_4 \eta_{\text{уд}}, \quad (3.30)$$

где $S_{\text{уд}}$ – рабочая площадь секции удаления воды и загрязнителей с поверхностей корнеклубнеплода, м^2 ;

$\eta_{\text{уд}}$ – КПД секции удаления воды и загрязнителей с корнеклубнеплодов;

l_4 – длина секции удаления воды и загрязнителей с корнеклубнеплодов, м.

Длина секции удаления воды и загрязнителей с корнеклубнеплодов

$$l_4 = \frac{Z_{\text{КОВ}} a_{\text{К}} b_{\text{К}}}{2\pi R_6 \eta_{\text{уд}}}, \quad (3.31)$$

КПД $\eta_{\text{уд}}$ секции удаления воды и загрязнителей с корнеплодов

$$\eta_{\text{уд}} = \frac{\sum S_{\text{отв}}}{S_{\text{уд}}}, \quad (3.32)$$

где $\sum S_{\text{отв}}$ – сумма площадей отверстий в секции удаления воды и загрязнителей, м²;

$S_{\text{уд}}$ – общая площадь поверхности секции удаления воды и загрязнителей, м².

Изменяя отношение объема нагнетаемой воды ковшами в единицу времени к объему, выводимому через секцию удаления воды и загрязнителей, получим скорость продольного потока v , т.е. основную составляющую производительности гидротурбинной барабанной корнеклубнемоющей.

Компенсационный объем $V_{\text{ком}}$ водяного потока по участкам $l_1 - l_4$, выражается зависимостью

$$V_{\text{ком}} = V_{\text{уд}} - V_{\text{наг}}, \quad (3.33)$$

где $V_{\text{уд}}$ – объем водяного потока с корнеклубнеплодами удаляемый в единицу времени в секции удаления воды и загрязнителей с корнеплодов, м³;

$V_{\text{наг}}$ – объем водяного потока в единицу времени, создаваемый нагнетательными ковшами, м³/с.

Объем секции удаления воды и загрязнителей с корнеклубнеплодов $V_{\text{уд}}$ равен

$$V_{\text{уд.в}} = V_{\text{э.б}} k_{\text{уд}}, \quad (3.34)$$

где $k_{\text{уд}}$ – коэффициент, показывающий отношение объема секции удаления воды и загрязнителей к объему барабана. Исходя из экспериментальных данных, коэффициент $k_{\text{уд}}$ составляет 0,20–0,25 [42], а объем технологической воды $V_{\text{вод}}$ выразим уравнением

$$V_{\text{вод}} = \frac{n_i m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{исх}} + \Delta_m)}{100 \rho_{\text{к.в}}} k_{\text{уд.в}}, \quad (3.35)$$

где $k_{уд.в}$ – удельный расход воды на единицу объема обрабатываемого вороха. Он принимается в пределах 0,150 – 0,250 т/т. При этом пассивный объем $V_{пас}$ корнеклубнемойки выразится уравнением

$$V_{пас} = L_{ван} \left(\frac{\pi D_{ван}^2}{4} \right) - L_{бар} \left(\frac{\pi D_{бар}^2}{4} \right). \quad (3.36)$$

После соответствующих преобразований (3.19), $V_{ван}$ примет вид

$$V_{ван} = \frac{Q_3 t_3}{\varphi_3 \rho_{к.в} K_3} + V_{1\text{ ков}} Z_{ков} \eta_{ков} + V_{э.б} k_{уд} + \frac{n_{ж} m_{сут} (100 + \delta_{исх} + \Delta_m)}{100 \rho_{к.в}} k_{уд.в} + \\ + L_{ван} \left(\frac{\pi D_{ван}^2}{4} \right) - L_{бар} \left(\frac{\pi D_{бар}^2}{4} \right). \quad (3.37)$$

3.3.2 Теоретическое обоснование динамики жидкости во вращающемся барабане корнеклубнемойки

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными и практиками, рассматривают технологический процесс в моечной установке без учета воздействия динамики жидкости во вращающемся барабане, что сдерживает их совершенствование.

Рассмотрим в экспериментальной гидротурбинной корнеклубнемойке поведение корнеклубнеплодов (ОО – обрабатываемый объект) в барабане под действием противоборствующих сил: с одной стороны центробежных сил $P_{ц.т.к.}$, и с другой – центростремительной силы жидкости – (РО – рабочего органа – водяных струй), прижимающей к внутренней стенке барабана корнеклубнеплоды и увлекающей их во вращательное движение описываемое зависимостью

$$P_{ц.т.к.} = m \omega_k^2 r_{ц.т.к.}, \quad (3.38)$$

где $P_{ц.т.к.}$ – сила, создаваемая центром тяжести корнеклубнеплодов во вращающемся барабане;

m – масса корнеклубнеплодов в барабане корнеклубнемойки, кг;

ω_k – критическая окружная скорость барабана корнеклубнемойки, м/с;

$r_{ц.т.к.}$ – средний радиус центра тяжести слоя корнеклубнеплодов в барабане, м.

С другой стороны корнеплоды под действием РО струй воды, нагнетаемых ИМ (исполнительным механизмом - ковшами) отбрасываются от внутренней стенки барабана. Составляющими гидротурбинной корнеклубнемойки [27, 59] являются: барабан 1 частично заполненный корнеклубнеплодами 5 с расположенными на нем по винтовой линии ковшами 2, находящийся в ванне 3 с водой 4. Благодаря воздействию водяных струй из нагнетательных ковшей, расположенных по винтовой к образующей на барабане под углом 28° . Данный угол принят из конструктивных соображений с учетом более устойчивой работы барабана.

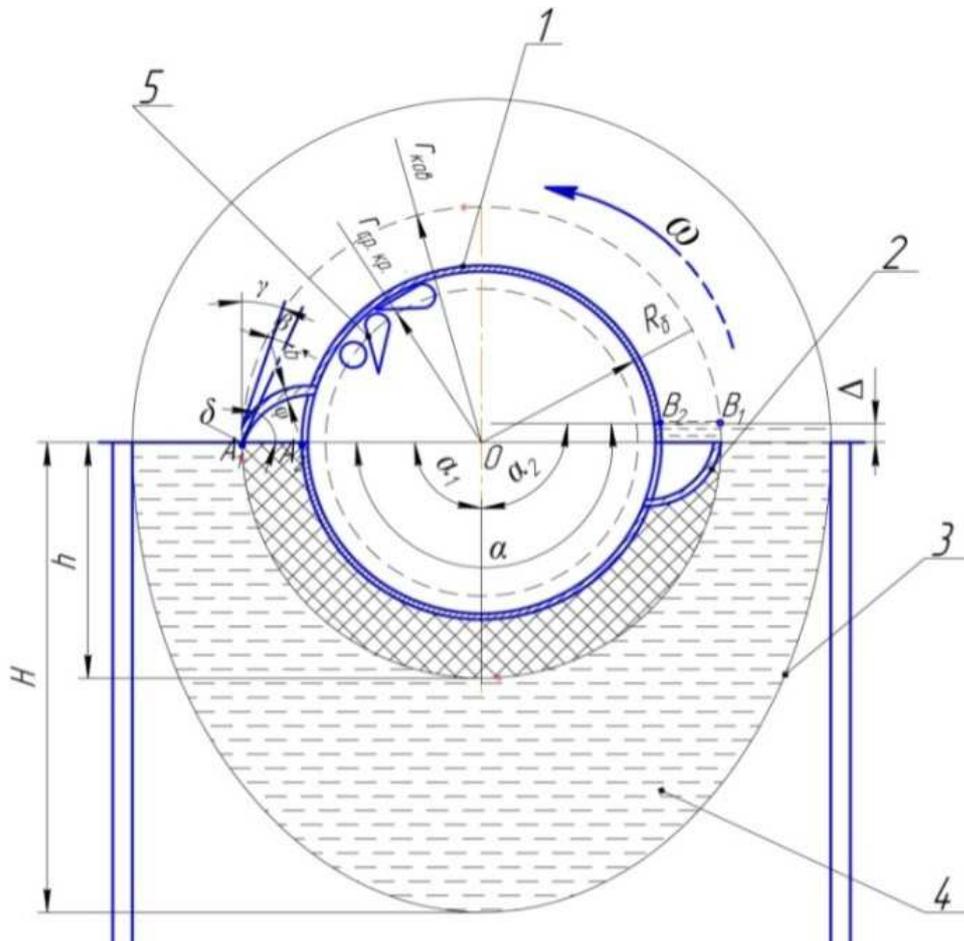


Рисунок 3.8—Схема к теории расчета параметров нагнетательных ковшей корнеклубнемойки

α - угол работы ковша; β – угол наклона передней грани ковша; γ - угол установки передней грани ковша

Часть корнеклубнеплодов под действием центробежных сил, прижатая к стенке барабана, продолжает движение над водой. На этом участке загрязнители

сходят с корнеклубнеплодов на внутреннюю поверхность барабана. В результате вращения барабана 1 с частотой ω ковши 2, сечением $a_k \cdot b_k$ зачерпывают воду (рисунок 3.9), прогоняют ее через себя i количеством водяных струй (рисунок 3.10), с внутренним радиусом $R_6 = 300$ мм и наружным 386 мм. Струи, по мере движения внутри барабана, обмывают прижатые к стенкам корнеклубнеплоды и стимулируют движение воды внутри барабана, перемещая корнеклубнеплоды, способствуя взаимному перетиранию (Приложение В).

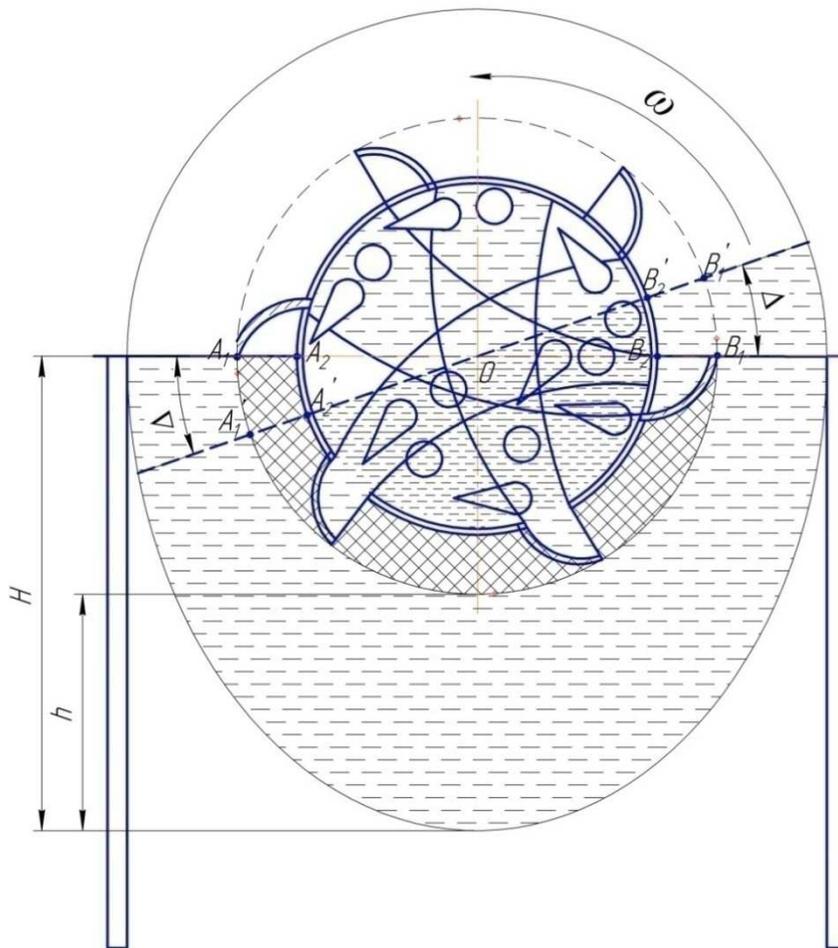


Рисунок 3.9—Схема к теории расчета параметров водяных струй

В ванне со стороны вхождения ковшей в воду угол зачерпывания $\alpha_1 = 90^\circ - \Delta$, а со стороны выхода $\alpha_2 = 90^\circ + \Delta$. В среднем объем воды, зачерпываемый одним ковшом за оборот барабана равен

$$V_k = a_k b_k \frac{\pi r \alpha}{360^\circ}. \quad (3.39)$$

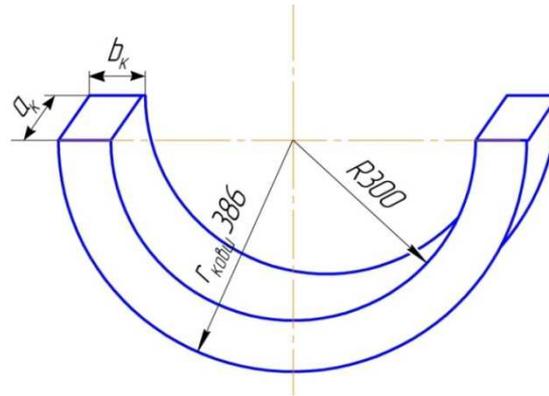


Рисунок 3.10—Схема к теории расчета параметров водяных струи

При режиме центрифугирования водяной слой, находящийся внутри барабана распределяется равной толщиной h_{cp} по внутренней полости барабана, который из-за превалирующей плотности воды над плотностью корнеклубнеплодов в воде смещает корнеклубнеплоды ближе к центру, заставляя их возвращаться в нижнюю часть барабана по криволинейной траектории. Однако водяные струи ковшей, имеющие большую кинетическую энергию, отталкивают этот распределенный слой h_{cp} новыми струями. Во время движения струи воды от ковшей с параметрами a_k, b_k разделяются на несколько мелких струй, образованных от встречи с корнеклубнеплодами и охватывают большую поверхность корнеклубнеплодов и омывают рядом расположенные загрязненные корнеклубнеплоды с других плоскостей.

При этом должно соблюдаться условие $P_{вод} > P_{ц.т.к.}$, т.е. способность струи отталкивать корнеклубнеплоды от стенки барабана к центру, где они будут находиться во взвешенном состоянии в воде и перемещаться потоками воды в сторону выгрузки.

Перемещение объема воды из ванны 3 ковшами от точки А до точки В при повороте на угол α происходит с эффектом прямого «гидравлического удара» на корнеклубнеплод, прижатый к внутренней стенке барабана, в результате чего корнеклубнеплод отбрасывается внутрь барабана, а ранее находящиеся на них загрязнители смываются разбрызганными струями в виде ударных волн, отраженных от корнеклубнеплодов. Критическое

состояние взаимодействия сил во вращающемся барабане между корнеклубнеплодами и потоками воды представим в виде уравнения

$$m \omega_k^2 r_{\text{ц.т.к.}} = m_{\text{вод}} \omega_{\text{вод}}^2 r_{\text{ц.т.к.вод}} \quad (3.40)$$

При вращении барабана нагнетательные ковши создают водяные струи входящие внутрь него с постоянной скоростью и давлением. В свою очередь падающие корнеклубнеплоды или созданный слой из них перекрывают отверстия ковша создавая «гидравлический» удар в водяной струе на величину Δp , которая позволяет более эффективно отделять механические загрязнители, находящиеся на корнеклубнеплоде и выраженное уравнением

$$\Delta p = \rho_v c_v v_v, \quad (3.41)$$

где ρ_v – плотность воды, кг/м³;

c_v – коэффициент, учитывающий эффективность воздействия водяной струи на корнеклубнеплод в зависимости от его динамики в барабане, выражающийся величиной более 1;

v_v – предельно допустимая скорость водяной струи, м/с.

Значение Γ – интенсивность осцилляционного воздействия в таких режимах [35] характеризуется $\omega^2 R$ – безразмерной осцилляционной силой.

Радиус центра тяжести слоя корнеклубнеплодов меньше радиуса барабана на величину усредненного размера радиуса корнеклубнеплода $r_{\text{у.к.}}$, расположенного в слое воды h_{const} , образованного из шести взаимно скомпонованных корнеклубнеплодов (рисунок 3.11).

$$r_{\text{ц.т.к.}} = R_b - r_{\text{у.к.}}, \quad (3.42)$$

где $r_{\text{у.к.}}$ – усредненный размер радиуса шара из взаимно скомпонованных корнеклубнеплодов, м.

Радиус центра тяжести водяных струй, сформированных в ковше, $r_{\text{ц.т.в.с.}}$, больше радиуса барабана на $2/3 b_k$ – ширины ковша и выражается равенством

$$r_{\text{ц.т.в.с.}} = R_b + \frac{2}{3} b_k, \quad (3.43)$$

где b_k – ширина нагнетательного ковша (ИМ), м.

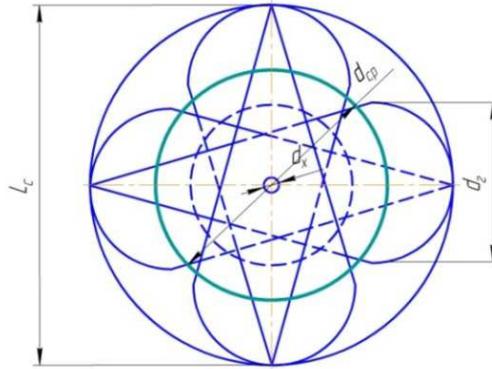


Рисунок 3.11 – Схема к теории расчета среднего радиуса корнеклубнеплода

Во время вращения барабана уровень воды в точке В устанавливается выше, чем в А, на величину Δ уровня воды в результате завихрений потока. Масса зачерпываемой воды (РО) m_B из ванны и прогоняемой ковшом внутрь барабана за один оборот выразится уравнением

$$m_B = V_B \rho_B \beta_{\text{ков}}, \quad (3.44)$$

где V_B – объем ковша, м^3 .

$\beta_{\text{ков}}$ - угол передней грани нагнетательного ковша

Принимаем объем воды, зачерпываемый ковшом за один оборот

$$V_B = h F_k f, \quad (3.45)$$

где h – длина рабочего пути движения ковша с водой в ванне, м;

F_k – площадь поперечного сечения ковша, м^2 ;

f – местные потери в зависимости от угла установки γ и наклона передней грани β ковша (рисунок 3.8);

В свою очередь, $h = h_1 + h_2$, где $h_1 = r_{\text{cp}} \cdot \sin \alpha_1$; $h_2 = r_{\text{cp}} \cdot \sin \alpha_2$ или после преобразования получим $h = r(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$.

Объемную производительность зачерпываемой воды (ИМ) V'_B выразим через геометрические параметры ковша и частоту вращения барабана

$$V'_B = \sqrt{\frac{1}{3} \pi (R_6 + a_k) a_k b_k f \omega}, \quad (3.46)$$

где ω - частота вращения барабана, мин^{-1} .

Длину пути движения ковша с водой h выразим

$$h = 2\pi r_{\text{cp}} \alpha. \quad (3.47)$$

Угол вхождения ковша ν в воду и отделения части от «монолита», находящегося в ванне, определится по формуле

$$\nu = \varphi_a + \beta = 90^\circ - \gamma, \quad (3.48)$$

где φ_a – угол атаки ковша в воду, град;

Принимаем критическое состояние работы корнеклубнемойки, когда центробежные силы корнеклубнеплодов уравновешены инерционными силами водяных струй, подаваемых ковшами выраженных тождеством:

$$\frac{m_{\text{кор}} \cdot v_{\text{кор}}^2}{2} = \frac{m_{\text{вод}} \cdot v_{\text{вод}}^2}{2}, \quad (3.49)$$

где $v_{\text{кор}}$ – скорость перемещения корнеплодов в барабане, м/с;

$v_{\text{вод}}$ – скорость перемещения водяных струй в барабане, м/с.

Выражая v^2 через $\omega^2 R_{\text{б}}$ и, сделав преобразование, получим

$$V_{\text{кор}} \rho_{\text{кор}} \omega_{\text{кор}}^2 r_{\text{ц.т.к.}} = V_{\text{в}} \rho_{\text{в}} \omega_{\text{в}}^2 r_{\text{ц.т.в.}}, \quad (3.50)$$

где $V_{\text{кор}}$ – объем корнеплодов в барабане, м³;

$\omega_{\text{кор}}$ – угловая скорость центра тяжести среднего слоя корнеплодов в барабане, с⁻²;

$r_{\text{ц.т.к.}}$ – радиус центра тяжести слоя корнеклубнеплодов в барабане (рисунок 3.8);

$V_{\text{в}}$ – объем воды, зачерпываемый ковшом, м³ (3.45);

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³;

$\omega_{\text{в}}$ – угловая скорость объема воды в ковше, с⁻²;

$r_{\text{ц.т.в.}}$ – радиус центра тяжести объема воды в ковше, м.

Зная минимальный размер по диаметру для картофеля 65–100 мм, при длине 75–120 мм [25] принимаем размер ковша 64×115 мм, что исключит высыпание всех корнеклубнеплодов в ванну из барабана в период его остановки.

Количество ковшей $Z_{\text{ков}}$, расположенных по поверхности барабана составит

$$Z_{\text{КОВ}} = \frac{F_{\text{б.н}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \Omega}{F_{\text{КОВ}}}, \quad (3.51)$$

где $F_{\text{б.н}}$ —площадь поверхности барабана без секции удаления воды и загрязнителей, м²;

$\eta_{\text{п}}$ —коэффициент использования поверхности барабана для размещения нагнетательных ковшей. Принимаем $\eta_{\text{п}} = \frac{2}{3} L_{\text{б}}$;

$F_{\text{КОВ}}$ —площадь поперечного сечения ковша, м²;

Ω —кратность воздействия водяных струй на обрабатываемый продукт.

Принимаем по опытным данным Ω в пределах 3–7 тыс. раз на одну тонну обрабатываемого продукта.

Шаг ковшей S расположенных по поверхности барабана равен

$$S = \frac{l_1 + l_2 + l_3 - \delta_1 + \delta_2 - Z'_{\text{к}} b_{\text{к}}}{Z'_{\text{к}} - 1}, \quad (3.52)$$

где l_1, l_2, l_3 — длина 1, 2, 3 секций барабана корнеклубнемойки, м;

δ_1 —расстояние от крайнего ковша до торцевой загрузочной части барабана, м;

δ_2 —расстояние от крайнего ковша до секции выгрузки, м.

$Z'_{\text{к}}$ —количество ковшей в одном ряду, шт.

При $\delta_1 = \delta_2$ S будет равен

$$S = \frac{L_{\text{б}} - 2\delta_1 - Z'_{\text{к}} b_{\text{к}}}{Z'_{\text{к}} - 1}, \quad (3.53)$$

По расчетным данным шаг для 24 ковшей составляет 130 мм.

3.4 Теоретическое обоснование рабочего процесса гидротурбинной корнеклубнемойки

3.4.1. Технологический цикл гидротурбинной корнеклубнемойки

Для гидротурбинной установки как мойки корнеклубнеплодов и одновременно ПТЛ справедливы общие для них аналитические зависимости. Технологический цикл машины $T_{\text{т}}$, т.е. время пребывания корнеклубнеплода

в рабочем барабане должно быть не менее технологического цикла процесса T'_T , т.е. не меньше времени, необходимого для завершения процесса обработки корнеклубнеплодов при данной конструкции машины (рисунок 3.12).

Существующие машины, созданные по данному условию, предусматривают подачу всего вороха корнеклубнеплодов с почвой и другими инородными составляющими в моечные ванны. При этом соответственно требуются дополнительный объем воды и габаритные размеры моек.

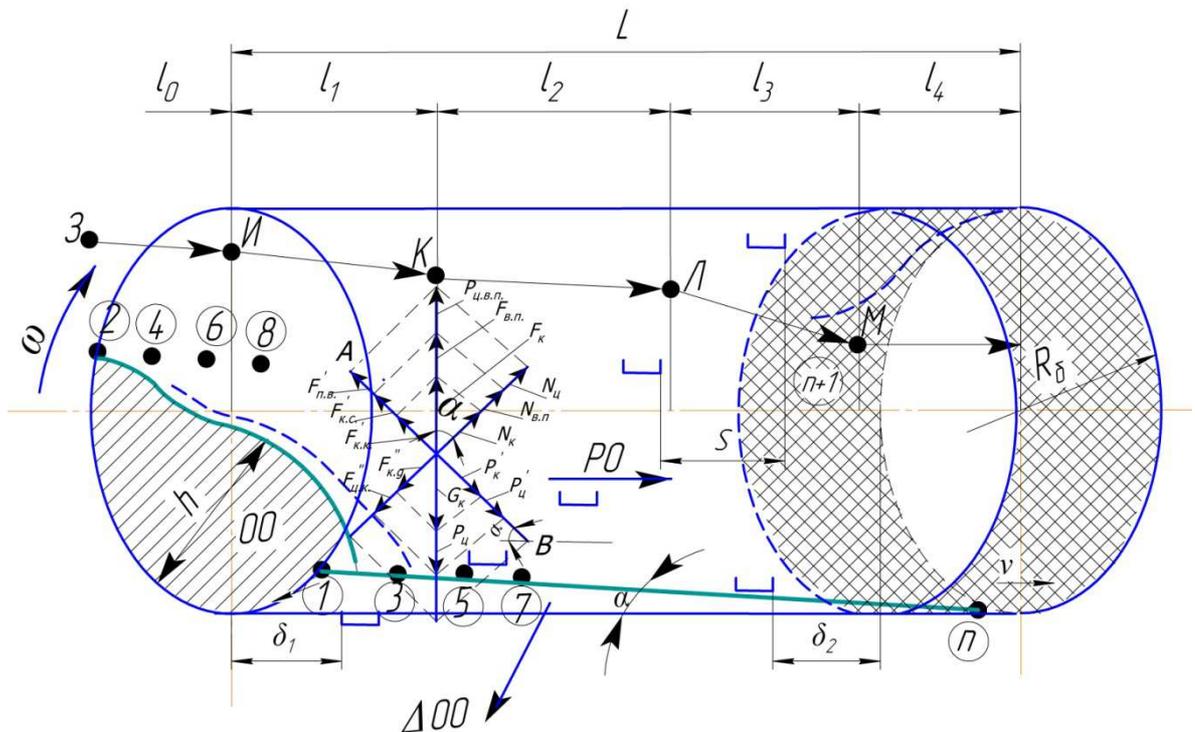


Рисунок 3.12 – К теории перемещения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки

Технологические участки: l_0 – загрузки OO ; l_1 – отмокание и начало активной мойки; l_2 – активного отмывания корнеклубнеплодов; l_3 – равномерного распределения корнеклубнеплодов по внутренней части барабана; l_4 – удаление загрязнителей с поверхности корнеклубнеплодов и выгрузки OO .

Сокращенные обозначения: OO – обрабатываемый объект (корнеклубнеплод); PO – рабочий орган (водяные струи); $ИМ$ – исполнительный механизм создания водяных струй (ковши)

Для устранения данного факта принят технологический цикл предварительной очистки корнеклубнеплодов, совмещенный с циклом подачи, если это требует производственная необходимость, причем без

дополнительного подвода энергии, а для оптимизации процесса мойки корнеклубнеплодов, разделили всю длину барабана на участки по условно выполняемым технологическим процессам: l_0 —загрузки ОО; l_1 – отмокание и начало активной мойки за счет трения друг по другу при сползании корнеклубнеплодов по поверхности образованной углом естественного откоса; l_2 – активного отмыывания корнеклубнеплодов за счет воздействия водяных струй; l_3 – равномерного распределения корнеклубнеплодов по внутренней периферийной части барабана с активной их мойкой водяными струями; l_4 – удаления вымытых корнеклубнеплодов.

При этом должно быть выдержано условие между продолжительностью технологического цикла машины T_T и технологическим циклом процесса мойки T'_T

$$T_T = T'_T, \quad (3.54)$$

где T'_T – технологический цикл процесса обработки корнеклубнеплодов, ч.

С увеличением скорости перемещения жидкости вдоль барабана, а с ними и ОО будет находиться в барабане меньшее время, чем то, которая необходима для отмыывания каждого элементарного корнеклубнеплода струями воды до зоотехнически допустимых норм по качеству конечного продукта. Поэтому рекомендуется проектировать машины с T_T запасом рабочего времени.

$$T_T = T'_T + \Delta T, \quad (3.55)$$

где ΔT – запас технологического времени, ч.

Для нашего случая ΔT это время отделения инородных примесей и обработки дополнительного объема компенсационных потерь Δ .

Так как технологический процесс мойки организован в потоке, по пути движения обрабатываемого вороха корнеплодов, то его течение представим переменной величиной

$$Y = Af(L), \quad (3.56)$$

где $A = (\alpha, \beta, \gamma \dots \tau)$ – рассматриваемые факторы технологического процесса;

L – длина пути прохождения корнеклубнеплода в процессе обработки.

Таким образом, протяженность поточного технологического процесса может быть измерена в единицах (l_i) длины или времени (3.54) и их графические зависимости при постоянных v_0 – скорости перемещения и ($\alpha, \beta, \gamma \dots \tau$) будут подобны друг другу.

На протяжении всего времени движения в барабане они подвергаются обработке водяными струями с разной активностью.

Рабочие струи (РО) – работают только в пространстве ванны, созданном ковшами (ИМ) – исполнительными механизмами.

В объеме воды ванны они создают постоянное поперечное сечение a_k, b_k – струи, вращающейся с постоянной замкнутой траекторией, на которой нельзя указать с достаточной точностью начальные точки (1, 3, 5, 7 и т.д.), промежуток времени между ΔT двумя исходными положениями рабочего органа или исполнительного механизма, называемый тактом цикла, который описывается уравнением

$$T_{\text{ц}} = t_p + t_x + t_{\text{ост}}, \quad (3.57)$$

где t_p – интервал рабочего хода, т.е. отрезок времени в направлении преодоления сопротивлений, которые оказывают корнеклубнеплоды, ч;

t_x – интервал холостого хода, ч (при выходе из воды ИМ перестают работать.);

$t_{\text{ост}}$ – интервал остановки, ч.

На барабанной мойке последовательно установлены по винтовой линии ковша (ИМ), создающие равномерный пульсирующий поток (РО) благодаря сдвигу цикла воздействия образованных струй, обеспечивающих непрерывный поток выхода готовых корнеклубнеплодов.

Время между моментами выдачи готовой продукции обозначим через T_p .

Для разработанной барабанной корнеклубнемойки проходного типа характерно внутримашинное транспортирование ОО и, как правило, несовпадение T_p с T_T .

Непрерывная поточная корнеклубнемойка с частичным совмещением операций по времени исполнения представлена схемами на рисунке 3.13 по технологическим участкам, указанным на рисунке 3.12.

На участке l_0 в процессе загрузки транспортирования ОО происходит отделение до 20 % инородных примесей, которые, соответственно понижают $\delta_{исх}$ и удельный расход воды.

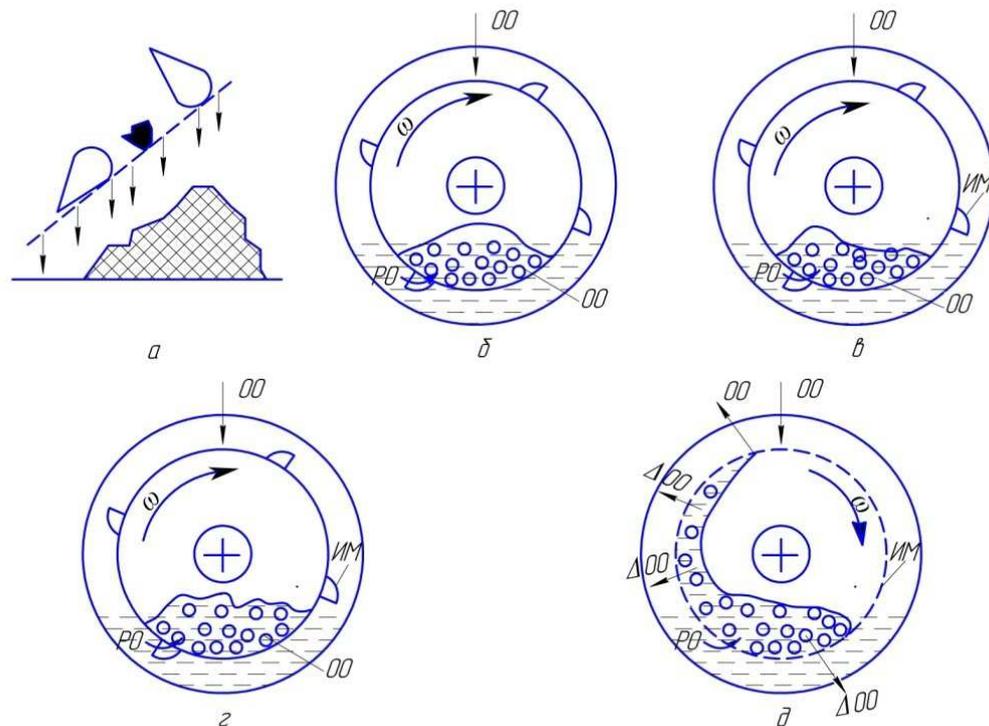


Рисунок 3.13—Схемы характерных действий материальных потоков и исполнительных механизмов

a – загрузка (ОО) и отделение крупных инородных примесей; *б* – отмокание грязи и начало мойки; *в* – активное отмывание; *г* – равномерное распределение корнеклубнеплодов на участке; *д* – центробежного отделения воды и примесей с выгрузкой ОО

На участке l_1 осуществляется загрузка барабана корнеклубнеплодами под действием сил тяжести G . Они накапливаются в барабане высотой h с углом естественного откоса при вершине и растянутым основанием по дуге внутренней поверхности барабана и его длине по направлению оси

вращения. Одновременно нижние слои ОО за счет сил трения о поверхность барабана поднимаются от т. 1 до т. 2, достигнув которую, скатываются вниз до т. 3, удаленной от т. 1. При этом загружаемая масса корнеплодов в барабане с водой имеет сложную форму поверхности, которая по мере продвижения к выгрузному участку сглаживается до угла значительно меньшего естественного откоса.

Время продолжения технологического цикла $T_{ц1} = l_1/v_1$ имеет наибольшую величину по сравнению с другими циклами из-за минимальной скорости v_1 продольного перемещения ОО, что способствует загрязнителю полнее пропитаться водой и размягчиться.

Действие водяных струй на l_1 от ковшей ощущается, но недостаточно для разрушения всей загруженной массы в барабане.

На участке l_2 от т.А до т.В происходит более активная борьба сил гравитации и воздействия водяных струй (РО). Здесь корнеклубнеплоды с характерным движением по всему объему непрерывно меняют положение продольной оси в пространстве, сталкиваясь друг с другом. В данном процессе продольная скорость перемещения корнеклубнеплодов $v_2 > v_1$.

На участке l_3 процесса активного воздействия рабочего объекта РО на корнеклубнеплод от т. В до т. С все корнеклубнеплоды находятся во взвешенном состоянии, с учётом центра тяжести. Они перемещаются индивидуально, преимущественно вращаясь вокруг собственной продольной оси и двигаются хаотично под небольшим углом, касаясь друг друга, всплывая и погружаясь. Здесь происходит наиболее активная мойка корнеклубнеплодов и их продольная скорость стабилизируется $v_3 = const$.

На участке l_4 , от т.С до т.Д продольная скорость корнеклубнеплодов снижается из-за уменьшающегося подпора потока воды с участка l_3 . Поведение воды соответствует режиму центрифугирования и все корнеклубнеплоды, под действием собственных центробежных сил и центробежных сил воды прижимаются к решетчатой поверхности барабана, одновременно вода и загрязнители находящиеся на корнеклубнеплодах

выбрасываются из барабана в ванну, а (ОО) поднимается вверх и при встрече с выгрузным скребком выводится чистым и сухим из барабана.

Таким образом, изменение траектории корнеклубнеплодов от т. З до т. D происходит по действием водяных потоков, создаваемых ИМ.

Участок l_4 , обеспечивает максимальную пропускную способность объема воды V_{max} , которая, перемещаясь в ванне к участку загрузки, уменьшает свою скорость пропорционально объему на величину, забираемую ковшами и проталкиваемую внутрь барабана. Здесь $V_{max} = \sum V_{ков}$. Соответственно этому будет уменьшаться и продольная скорость перемещения воды между стенкой барабана и ванной, в результате чего загрязнители будут активнее осаждаться на дно ванны, а более чистая вода будет подаваться для обработки корнеклубнеплодов. В данном случае для перемещения воды и ее очистки не требуется дополнительных технических средств.

3.4.2 Теоретическое обоснование скорости перемещения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки

При теоретическом исследовании процесса мойки корнеклубнеплодов в частично заполненном вращающемся барабане в воде гидротурбинной корнеклубнемойки достаточным условием принято за основу рассмотрение схемы траектории движения корнеклубнеплодов в рабочей полости барабана.

Начало движения корнеклубнеплода вдоль оси барабана начинается с т. А и заканчивается в т. D. Стабильное перемещение корнеклубнеплодов происходит со средней скоростью на участке АС. Схема силового воздействия между ОО, РО и внутренней поверхностью барабана приведен на рисунке 3.12.

Для удобства рассуждений при анализе силового воздействия на корнеклубнеплоды в барабане, дадим расшифровку составляющих сил:

$G_k = m_k g$ – сила тяжести корнеклубнеплодов, Н;

$P_{ц} = m_k \omega^2 R_б$ – центробежная сила корнеклубнеплодов, Н;

$P_{ц.в.п.} = m_{п.в} \omega^2 R_6$ – центробежная сила водяной струи, созданной ковшом, Н;

$F_{к.к.} = 2m_k \omega v_0$ – сила Кориолиса от массы корнеклубнеплодов, Н;

$F_{к.в.п.} = 2m_{п.в} \omega v_0$ – сила Кориолиса от водяного потока, Н;

$N_k = 2m_k v_0 \omega \cos \alpha$ – нормальная составляющая от силы Кориолиса корнеклубнеплода, Н;

$N_{к.в.п.} = 2m_{в.п.} \omega v_0 \cos \alpha$ – нормальная составляющая от силы Кориолиса водяного потока, Н;

$N_{ц} = m_{п.в} \omega^2 R_6 \cos \alpha$ – нормальная составляющая от центробежной силы водяной струи, Н;

$F'_{п.в.} = \varphi m_{п.в} \omega^2 R_6 \sin \alpha$ – силы трения (подъема корнеклубнеплодов) под действием потока воды, Н;

$F'_{к.с} = 2\varphi m_{в.п.} \omega v_0 \sin \alpha$ – сила трения от нормальной составляющей силы Кориолиса водяного потока, Н;

$F'_{к.к} = 2\varphi \omega v_0 m_k$ – сила трения (подъема корнеклубнеплодов) от нормальной составляющей силы Кориолиса корнеклубнеплодов, Н;

$N'_k = m_k g \cos \alpha$ – нормальная составляющая от силы тяжести корнеклубнеплодов, Н;

$N'_{к.ц.} = m_k \omega^2 R \cos \alpha$ – нормальная составляющая от центробежной силы корнеклубнеплодов, Н;

$P'_k = m_k g \sin \alpha$ – сила сползания корнеклубнеплодов под действием силы тяжести G_k , Н;

$P'_{ц} = m_k \omega^2 R_6 \sin \alpha$ – сила сползания корнеклубнеплодов под действием центробежной силы $P_{ц}$, Н;

$F''_{к.г} = \varphi m_k g \cos \alpha$ – сила трения корнеклубнеплодов от нормальной силы N'_k , Н;

$F''_{ц.к.} = \varphi \omega^2 R_6 \cos \alpha$ – сила трения корнеклубнеплодов от центробежной силы N'_k , Н

Сделав допущение, что наиболее значимыми силами, влияющими на перемещение корнеклубнеплодов вдоль барабана при частоте вращения 60

мин¹, будут сила тяжести корнеклубнеплодов G_k , возникающая от центробежной силы $P_{ц}$, центробежная сила от водяного потока, создаваемая нагнетательными ковшами, составили неравенство, отвечающее перемещению корнеклубнеплодов (рисунок 1.16, 3.12, 3.14) вдоль продольной оси барабана

$$mg \sin \alpha + m\omega^2 R_6 \sin \alpha > 2\varphi m\omega v_0 + \varphi mg \cos \alpha + \varphi m\omega^2 R_6 \cos \alpha; \quad (3.58)$$

$$g \sin \alpha + \omega^2 R_6 \sin \alpha - \varphi g \cos \alpha - \varphi \omega^2 R_6 \cos \alpha > 2\varphi \omega v_0;$$

$$g(\sin \alpha - \varphi \cos \alpha) + \omega^2 R_6 (\sin \alpha - \varphi \cos \alpha) > 2\varphi \omega v_0;$$

$$(g + \omega^2 R_6)(\sin \alpha - \varphi \cos \alpha) > 2\varphi \omega v_0.$$

Отсюда скорость перемещения корнеклубнеплодов вдоль продольной оси барабана запишется в виде уравнения

$$v_0 < \frac{\sum l_i}{(g + \omega^2 R_6)(\sin \alpha - \varphi \cos \alpha)}. \quad (3.59)$$

Время обработки корнеклубнеплодов $T_{ц}$ в барабане

$$T_{ц} = \frac{2\varphi \omega \sum l_i}{(g + \omega^2 R_6)(\sin \alpha - \varphi \cos \alpha)}. \quad (3.60)$$

Интенсивность технологического процесса $K_{инт}$ мойки корнеклубнеплодов в гидротурбинной корнеклубнемойке составит

$$K_{инт} = \frac{v_{п.в}}{v_0} = \frac{v_{п.в}}{\omega R_0}. \quad (3.61)$$

3.4.3 Математическая модель движения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки

При работе барабанной мойки на корнеплоды действуют силы $G_k, P_n, P_{ц}, P_v, F_k$ (рисунок 3.14).

Силу тяжести корнеклубнеплодов в воде можно определить по методике [78] и формуле [79]

$$G_k = A(\rho_k - \rho_v)gd_k^3, \quad (3.62)$$

где G_k – сила тяжести корнеклубнеплодов, Н;

A – коэффициент формы корнеклубнеплодов (для шарообразной формы $A = \frac{\pi}{6}$);

ρ_k – плотность корнеклубнеплодов, кг/м³;

ρ_B – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

d_k – усредненный диаметр корнеклубнеплодов, м.

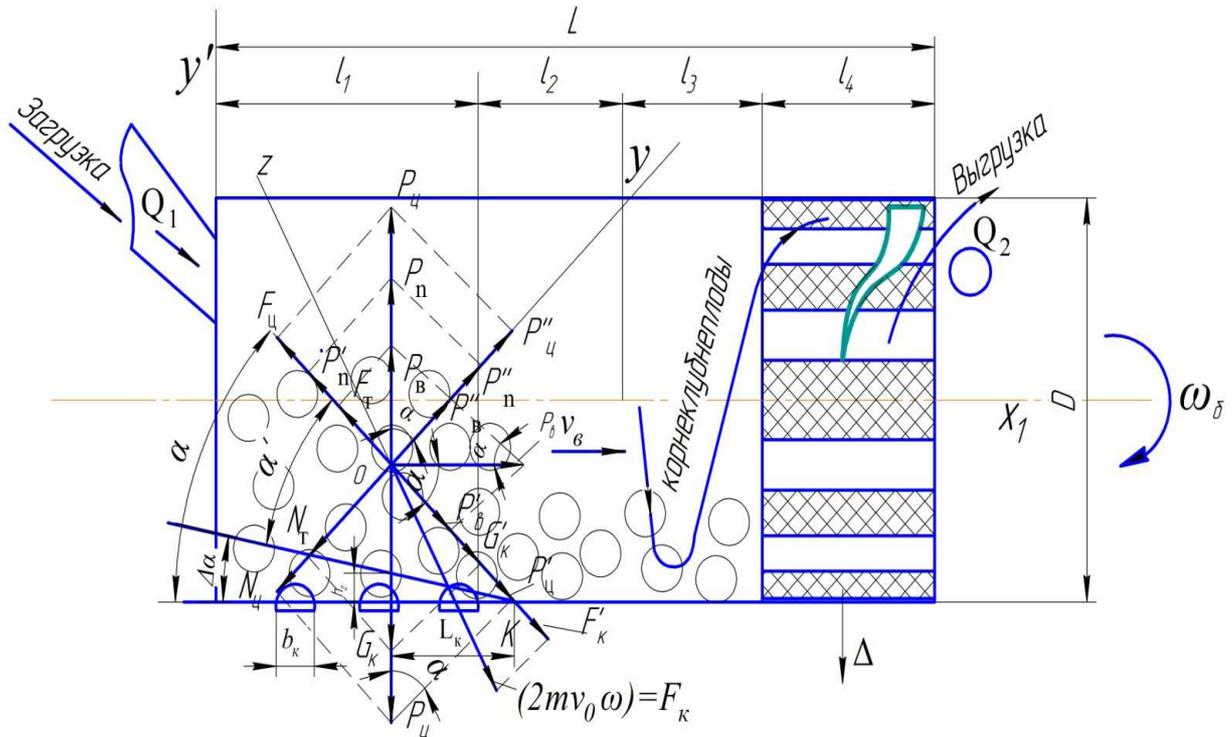


Рисунок 3.14 – Схема сил, действующих на корнеклубнеплоды в среде водяного потока в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки

Подъемная сила, действующая на корнеклубнеплоды в воде [79]

$$P_n = B\rho_B v_B^2 d_k^2, \quad (3.63)$$

где P_n – подъемная сила воды, действующая на корнеклубнеплоды, Н;

B – коэффициент пропорциональности;

v_B – средняя продольная скорость движения воды за время нахождения ее в барабане корнеклубнемойки, м/с.

При загрузке корнеплодов на участке l_1 последние подвергаются воздействию центробежной силы от вращения барабана [103].

Однако подаваемые во внутрь барабана нагнетательными ковшами потоки воды на этом участке отталкивают корнеклубнеплоды от периферийной его части к центру вращения. Таким образом, корнеклубнеплоды вращаются внутри водной среды. Считается, что

эффективная мойка корнеклубнеплодов осуществляется при условии заполнения объема барабана на 1/3 и их вращении в водяной среде. Отсюда с учетом данного явления центробежную силу $P_{ц}$, действующую на корнеклубнеплоды, можно определить по формуле

$$P_{ц} = \frac{1}{3} m_{к} \omega_{б}^2 R_{б}, \quad (3.64)$$

где $m_{к}$ – масса корнеклубнеплодов, кг;

$\omega_{б}$ – частота вращения барабана, c^{-1} ;

$R_{б}$ – радиус барабана, м.

Принимаем барабан мойки вращается внутри ванны с постоянным уровнем воды, поэтому уровень воды внутри барабана будет таким же, как и в ванне, потому что нагнетательные ковши подают определенный объем воды внутрь и столько же выбрасывается через секцию удаления воды и загрязнителей в ванну. Внутри барабана осуществляется постоянное движение потока воды. Поток воды от вращения корнеклубнеплодов внутри барабана будет турбулентным, тем не менее направление вектора силы $P_{в}$, от действия этого водяного потока будет горизонтальным, т.е. вдоль оси вращения барабана, т.к. поток действует внутри замкнутого пространства и на относительно небольшой длине. В то же время поток как таковой не вращается внутри барабана ввиду приоритета сил от струй воды, нагнетаемых ковшами, над центробежными силами.

Силу нагнетаемой воды можно определить из выражения

$$P_{в} = \rho_{в} b_{к} a_{к} \omega_{б} R_{б} v_{в}, \quad (3.65)$$

где $b_{к}$ – высота заборной части ковшей, м;

$a_{к}$ – ширина заборной части ковшей, м;

$v_{в}$ – средняя продольная скорость потока воды внутри барабана, м/с.

При равенстве $\omega_{б} R_{б}$ – окружной скорости входящего потока воды через ковши и усредненной скорости потока воды внутри барабана по продольной оси вращения, когда $\omega_{б} R_{б} = v_{в}$, сила $P_{в}$ определяли равенством

$$P_{в} = \rho_{в} a_{к} b_{к} v_{в}^2. \quad (3.66)$$

На корнеклубнеплоды при мойке действует сила Кориолиса F_K , поскольку они совершают сложное движение, а именно, вращаясь, одновременно перемещаются вдоль оси вращения барабана. Эта сила определяется по формуле

$$F_K = 2m_K \omega_6 v_0, \quad (3.67)$$

где v_0 – относительная скорость перемещения корнеклубнеплодов вдоль оси вращения барабана, м/с.

Учитывая, что ω_6 и v_0 в барабанных корнеклубнеплодах достаточно малы, действием F_K пренебрегаем.

В системе координат XOY и XOZ для участка l_1 , показана схема действующих сил на корнеклубнеплоды, находящиеся внутри барабанной мойки в предполагаемом их векторном направлении (рисунок 3.14).

Условие, описывающее движение корнеклубнеплодов вдоль продольной оси барабана мойки, запишем в виде системы уравнений

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0, \\ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0, \end{cases} \quad (3.68)$$

где $\sum_{i=1}^n F_{ix}$, $\sum_{i=1}^n F_{iy}$, $\sum_{i=1}^n F_{iz}$ – сумма проекций, действующих сил на корнеклубнеплоды на оси x , y , z .

Результирующие проекции сил на оси OX и OY будут равны

$$m_K \frac{d^2x}{dt^2} \text{ и } m_K \frac{d^2y}{dt^2}, \quad (3.69)$$

где m_K – масса корнеклубнеплодов, кг;

t – время прохождения корнеклубнеплодов на участке l_1 , с.

Преобразуем систему уравнений (3.68) к виду

$$\begin{cases} m_K \frac{d^2x}{dt^2} = P'_B + G'_K + P'_C - F_T - P'_n - F_C, \\ m_K \frac{d^2y}{dt^2} = P''_n + P''_B - N_T - N_C, \end{cases} \quad (3.70)$$

где N_T – проекция сил G'_K на ось OY ;

F_T – сила трения на ось OX корнеклубнеплодов друг о друга в воде от действия нормальной силы N_T ;

G'_K – проекция силы G_K на ось OX ;

P'_c – проекция силы P_c на ось OX;

P'_B – проекция силы P_B на ось OX;

N'_c, P''_B, P''_n – соответственно проекция сил P_c, P_B, P_n на ось OY;

F'_c – проекция силы трения корнеклубнеплодов друг о друга в воде от действия силы P'_c на OX; P'_n – проекция силы P_n на ось OX.

Проекции сил $P'_B, G'_K, P'_c, F'_T, F'_n, F'_c, P''_n + P''_B, N'_T, N'_c$ запишем с учетом угла обрушения корнеклубнеплодов α на участке l_1 , при этом α представляет собой сумму углов α' и $\Delta\alpha$ (рисунок 3.14)

$$\alpha = \alpha' + \Delta\alpha, \quad (3.71)$$

где α' – угол естественного откоса корнеклубнеплодов в воде (опытные данные), град;

$\Delta\alpha$ – угол подъема корнеклубнеплодов водяным потоком, создаваемым ковшами на участке l_1 , град.

Для определения $\Delta\alpha$ необходимо знать высоту h_r и длину l_r гребня волны водяного потока, создаваемого нагнетательными ковшами [78] (рисунок 3.15), который проявляется в сплошном барабане в режиме частичного центрифугирования

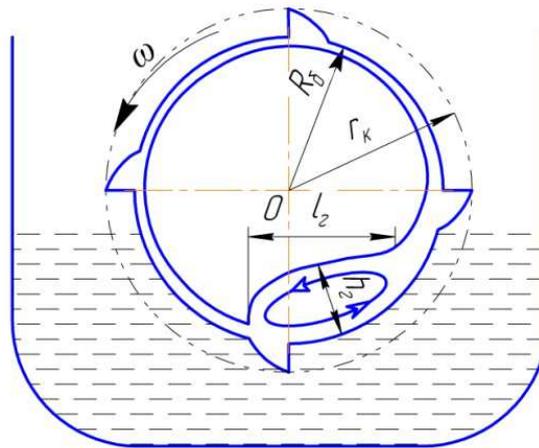


Рисунок 3.15 – Схема к определению высоты гребня волны водяного потока, создаваемого нагнетательными ковшами барабана мойки

$$h_r = \sqrt[3]{\left(\frac{Q_k}{m_6 l_r \sqrt{2g}}\right)^2}, \quad (3.72)$$

где h_r – высота гребня волны водяного потока, создаваемого ковшами, м;

Q_k – расход воды через ковш, м³/с;

m_6 – коэффициент расхода воды через ковш без учета бокового сжатия
($m_6 = 0,4 \dots 0,5$);

l_r – длина гребня водослива, м.

Расход воды через ковш определяли по формуле

$$Q_k = a_k b_k \omega_6 R_6. \quad (3.73)$$

После преобразования (3.72) получим величину h_r

$$h_r = \sqrt[3]{\left(\frac{a_k b_k \omega_6 R_6}{m_6 l_r \sqrt{2q}}\right)^2}. \quad (3.74)$$

Значение $\Delta\alpha$ определяли из выражения

$$tg\Delta\alpha = \frac{h_r}{L_k}, \quad (3.75)$$

где L_k – расстояние от крайней точки К по горизонтали до середины участка l_1 , м.

Таким образом, $\Delta\alpha = \arctg \frac{h_r}{L_k}$.

Подставляя значение проекции сил системы уравнений (3.70) на оси X и Y, получим

$$\left\{ \begin{array}{l} m_k \frac{d^2x}{dt^2} = \rho_B a_k b_k v_B^2 \cos\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) + A(\rho_k - \rho_B) q d_k^3 \sin\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right) + \\ \quad + A(\rho_k - \rho_B) q d_k^3 \omega_6^2 R_6 \sin\alpha - \varphi A(\rho_k - \rho_B) q d_k^3 \cos\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) - \\ \quad - B \rho_B v_B^2 d_k^2 \sin\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) - \varphi A(\rho_k - \rho_B) d_k^3 \omega_6^2 R_6 \cos\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) \\ m_k \frac{d^2y}{dt^2} = B \rho_B v_B^2 d_k^2 \cos\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) + \rho_B a_k b_k v_B^2 \sin\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) - \\ \quad - A(\rho_k - \rho_B) d_k^3 q \cos\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) - A(\rho_k - \rho_B) d_k^3 \omega_6^2 R_6 \cos\left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right) \end{array} \right. \quad (3.76)$$

Обозначим $m_k = A(\rho_k - \rho_B) d_k^3$.

$\Theta = \left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_r}{L_r}\right)\right)$, после чего система примет вид

$$\begin{cases} m_k \frac{dv_x}{dt} = \rho_B a_k b_k v_B^2 \cos\Theta + m_k q \sin\Theta + m_k \omega_6^2 R_6 \sin\Theta - \varphi m_k q \cos\Theta - \\ \quad - B \rho_B v_B^2 d_K^2 \sin\Theta - \varphi m_k \omega_6^2 R_6 \cos\Theta, \\ m_k \frac{dv_y}{dt} = B \rho_B v_B^2 d_K^2 \cos\Theta + \rho_B a_k b_k v_B^2 \sin\Theta - m_k q \cos\Theta - m_k \omega_6^2 R_6 \cos\Theta. \end{cases} \quad (3.77)$$

Сократив левые и правые части уравнения на m_k и сделав соответствующие преобразования, получим систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = \frac{\rho_B v_B^2 (a_k b_k \cos\Theta - B d_K^2 \sin\Theta) + \omega_6^2 R_6 (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta) + q (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta)}{m_k}, \\ \frac{dv_y}{dt} = \frac{\rho_B v_B^2 (B d_K^2 \cos\Theta + a_k b_k \sin\Theta)}{m_k} - \cos\Theta (q + \omega_6^2 R_6). \end{cases} \quad (3.78)$$

Выразим $m_k = A(\rho_k - \rho_B) d_K^3$, получим

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = \frac{v_B^2 \rho_B (a_k b_k \cos\Theta - B d_K^2 \sin\Theta)}{A(\rho_k - \rho_B) d_K^3} + \frac{q (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta)}{A(\rho_k - \rho_B) d_K^3} + \omega_6^2 R_6 (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta), \\ \frac{dv_y}{dt} = \frac{\rho_B v_B^2 (B d_K^2 \cos\Theta + a_k b_k \sin\Theta)}{A(\rho_k - \rho_B) d_K^3} - \cos\Theta (q + \omega_6^2 R_6) \end{cases} \quad (3.79)$$

и далее,

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = \frac{1(v_B^2 \rho_B (a_k b_k \cos\Theta - B d_K^2 \sin\Theta) + q (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta)) + \omega_6^2 R_6 (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta)}{A(\rho_k - \rho_B) d_K^3}, \\ \frac{dv_y}{dt} = \frac{\rho_B v_B^2 (B d_K^2 \cos\Theta + a_k b_k \sin\Theta)}{A(\rho_k - \rho_B) d_K^3} - \cos\Theta (q + \omega_6^2 R_6). \end{cases} \quad (3.80)$$

Поскольку правые части в системе уравнений (3.80) являются величиной постоянной, для удобства дальнейшего преобразования обозначим φ_1 и φ_2 , в виде

$$\varphi_1 = \frac{(v_B^2 \rho_B (a_k b_k \cos\Theta - B d_K^2 \sin\Theta) + q (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta)) + \omega_6^2 R_6 (\sin\Theta - \varphi \cos\Theta)}{A(\rho_k - \rho_B) d_K^3}, \quad (3.81)$$

$$\varphi_2 = \frac{\rho_B v_B^2 (B d_K^2 \cos\Theta + a_k b_k \sin\Theta)}{A(\rho_k - \rho_B) d_K^3} - \cos\Theta (q + \omega_6^2 R_6). \quad (3.82)$$

Запишем систему уравнений (3.80) в новом виде

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = \varphi_1 \\ \frac{dv_y}{dt} = \varphi_2 \end{cases}. \quad (3.83)$$

Сделав соответствующие преобразования и проинтегрировав уравнения системы (3.83), получим

$$\begin{cases} dv_x = \varphi_1 dt \\ dv_y = \varphi_2 dt \end{cases} \quad (3.84)$$

$$\begin{cases} \int dv_x = \int \varphi_1 dt \\ \int dv_y = \int \varphi_2 dt' \end{cases} \quad (3.85)$$

$$\begin{cases} v_x = \int \varphi_1 dt \\ v_y = \int \varphi_2 dt' \end{cases} \quad (3.86)$$

$$\begin{cases} v_x = \varphi_1 t + c_1 \\ v_y = \varphi_2 t + c_2' \end{cases} \quad (3.87)$$

где c_1, c_2 – постоянные интегрирования, которые находим на основании решения задачи Коши [79], исходя из начальных условий при

$$t = 0; v_x = 0; v_y = \sqrt{2hq}, \quad (3.88)$$

где h – высота падения корнеклубнеплодов в барабан мойки на участке l_1 .

Значения величин c_1 и c_2 найдем из следующих уравнений:

$$\begin{cases} 0 = \varphi_1 v + c_1 \\ \sqrt{2hq} = \varphi_2 0 + c_2' \end{cases} \quad (3.89)$$

Откуда

$$\begin{cases} c_1 = 0 \\ c_2 = \sqrt{2hq} \end{cases} \quad (3.90)$$

Таким образом, система уравнений (3.87) запишется в виде

$$\begin{cases} v_x = \varphi_1 t \\ v_y = \varphi_2 t + \sqrt{2hq} \end{cases} \quad (3.91)$$

Окончательно скорость перемещения корнеклубнеплодов на участке l_1 (рисунок 3.14), а соответственно и на всех участках вдоль продольной оси барабана мойки может быть найдена по выражению

$$\begin{aligned} v_k &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(\varphi_1 t)^2 + (\varphi_2 t + \sqrt{2hq})^2} = \\ &= \sqrt{\varphi_1^2 t^2 + \varphi_2^2 t^2 + 2\varphi_2 t \sqrt{2hq} + 2hq} = \\ &= \sqrt{\varphi_1^2 t^2 + \varphi_2 t (\varphi_2 t + 2\sqrt{2hq}) + 2hq}. \end{aligned} \quad (3.92)$$

Принимаем, что корнеклубнеплоды проходят путь внутри моечного барабана, вращающегося вокруг горизонтальной оси. Используя и

преобразуя систему уравнений (3.83), обозначив новые оси координат X_1 и Y_1 , получим уравнения

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \varphi_1 t \\ \frac{dy_1}{dt} = \varphi_2 t + \sqrt{2hq} \end{cases} \quad (3.93)$$

где x_1 и y_1 – проекции пути движения корнеклубнеплодов на оси O_1X_1 и O_1Y_1 .

$$dx_1 = \varphi_1 t dt, \quad (3.94)$$

$$\int dx_1 = \int \varphi_1 t dt, \quad (3.95)$$

$$x_1 = \varphi_1 \frac{t^2}{2} + c_3, \quad (3.96)$$

где c_3 – постоянная интегрирования.

Из начальных условий при $t = 0$, находим $x_1 = 0$, соответственно $c_3 = 0$.

Тогда

$$x_1 = \varphi_1 \frac{t^2}{2}. \quad (3.97)$$

Далее

$$\frac{dy_1}{dt} = \varphi_2 t + \sqrt{2hq}, \quad (3.98)$$

$$dy_1 = \varphi_2 t dt + \sqrt{2hq} dt, \quad (3.99)$$

$$dy_1 = (\varphi_2 t + \sqrt{2hq}) dt, \quad (3.100)$$

$$\int dy_1 = \int (\varphi_2 t + \sqrt{2hq}) dt, \quad (3.101)$$

$$y_1 = \varphi_2 \frac{t^2}{2} + \sqrt{2hq} \cdot t + c_4. \quad (3.102)$$

Из начальных условий при $t = 0$, $y_1 = y_0 = 0,25$ м, где y_0 – высота падения корнеплодов во внутрь барабана с водой, м. тогда $y_0 = c_4$.

Окончательно для y_1 получим

$$y_1 = \varphi_2 \frac{t^2}{2} + \sqrt{2hq} \cdot t + y_0, \quad (3.103)$$

$$y_1 = t(0,5\varphi_2 t + \sqrt{2hq}) + 0,25. \quad (3.104)$$

Скорость перемещения корнеклубнеплодов v_k при φ_1 , φ_2 и замене θ на их значения в выражениях (3.78, 3.81, 3.82) можно определить по формуле

$$\begin{aligned}
v_k = & \left(\frac{1}{A(\rho_k - \rho_B)d_K^3} \left((v_B^2 \rho_B (a_K b_K \cos(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) - B d_K^2 \sin(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r}))) \right. \right. \\
& + q \left(\sin(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) - \varphi \cos(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) + \omega_6 R_6 \sin(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) \right) \\
& \left. \left. + \frac{(\rho_B v_B^2 (B d_K^2 \cos(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) + a_K b_K \sin(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})))}{A(\rho_k - \rho_B)d_K^3} \right. \right. \\
& \left. \left. - \cos(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) (q + \omega_6^2 R_6) \right)^2 t^2 + \right. \\
& \left. + \sqrt{2t\sqrt{hq} \left(\frac{2\rho_B v_B^2 (B d_K^2 \cos(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) + a_K b_K \sin(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})))}{A(\rho_k - \rho_B)d_K^3} \right)} - \right. \\
& \left. - \sqrt{\cos(\alpha' + \arctg(\frac{h_r}{L_r})) (q + \omega_6^2 R_6)} \sqrt{2hq}. \right. \quad (3.105)
\end{aligned}$$

В результате выполненного расчета создана математическая модель рабочего процесса гидротурбинной корнеклубнемойки, выраженного в виде скорости перемещения корнеклубнеплодов внутри барабана мойки.

Данная математическая модель позволяет осуществить оптимизацию параметров корнеклубнемойки.

3.5 Определение мощности электропривода корнеклубнемойки

Мощность приводного $N_{дв}$ электродвигателя экспериментальной корнеклубнемойки определяется по формуле [35] с введением дополнительных затрат мощности N_5 на трение барабана о воду и КПД электродвигателя η_1 и трансмиссии

$$N_{дв} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5}{\eta_1}, \quad (3.106)$$

где N_1 – мощность, затрачиваемая на трение в подшипниках и передачах, кВт;

N_2 – мощность на преодоление сопротивления вращению барабана с ковшами в воде, кВт;

N_3 – мощность на перемешивание и перемещение продукта внутри барабана корнеклубнемойки, кВт;

N_4 – мощность на выбрасывание загрязнений и воды из моечного барабана, кВт;

N_5 – мощность, расходуемая на подъем и удаление готового продукта из моечного барабана, кВт;

η_1 – КПД электродвигателя.

В свою очередь,

$$N_1 = f m_{\text{б}} g v_{\text{б}}, \quad (3.107)$$

где f – коэффициент трения в подшипниках (0,95) [78];

$m_{\text{б}}$ – масса барабана, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$v_{\text{б}}$ – скорость барабана, м/с.

Мощность N_2 на преодоление сопротивления вращению барабана с ковшами в воде [80]

$$N_2 = (0,3 \dots 0,4) Q_{\text{б}} \sum F_{\text{ков}} \rho_{\text{вод}} \omega_{\text{б}}^2 \mu_{\text{к}}, \quad (3.108)$$

где $Q_{\text{б}}$ – производительность корнеклубнемойки, кг/с;

$\sum F_{\text{ков}}$ – общая площадь поперечного сечения нагнетательных ковшей, м²;

$\rho_{\text{вод}}$ – плотность воды, кг/м³;

$\omega_{\text{б}}$ – частота вращения барабана, мин⁻¹;

$\mu_{\text{к}}$ – коэффициент, учитывающий заполнение объема моечного барабана водой (0,3...0,4).

Мощность N_3 на перемешивание и перемещение продукта внутри барабана корнеклубнемойки

$$N_3 = \frac{\mu_{\text{к}} \rho_{\text{в}} v_{\text{б}}^2 V_{\text{б}}}{t_{\text{б}}}, \quad (3.109)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность корнеклубнеплодов в воде, кг/м³;

$V_{\text{б}}$ – объем барабана, м³;

$t_{\text{б}}$ – время нахождения обрабатываемых корнеплодов в барабане, с.

Мощность N_4 на выбрасывание загрязнений и воды из моечного барабана

$$N_4 = \mu_k(m_{\text{заг}} + m_{\text{в}})g v_{\text{б}}, \quad (3.110)$$

где $m_{\text{заг}}$ – масса выводимых загрязнителей, кг;

$m_{\text{в}}$ – масса выводимой воды из барабана, кг.

Мощность N_5 расходуемая на подъем и удаление готового продукта из моечного барабана

$$N_5 = c_{\text{тр}} f_{\text{к.в}} g v_{\text{б}}, \quad (3.111)$$

где $c_{\text{тр}}$ – коэффициент трения барабана о воздух [79];

$f_{\text{к.в}}$ – коэффициент трения корнеплодов в воде.

Коэффициент трения $c_{\text{тр}}$ для барабана, заполненного корнеплодами с водой, при оптимальном объеме зависит от числа Re и для нашего случая примем выражение по аналогии с рекомендацией Цумбуша для гладких поверхностей [77]

$$c_{\text{тр}} = \frac{0,0365}{\sqrt[5]{Re}}. \quad (3.112)$$

Число Рейнольдса Re следует вычислять, из особенностей конструкции барабана $r_{\text{к}}$ и параметров обрабатываемых корнеклубнеплодов $d_{\text{к}}$, т.е.

$$Re_{\text{н}} = \frac{\omega r_{\text{к}}^2}{\nu}, \quad Re_{\text{в}} = \frac{\omega R_{\text{б}}^2 - r_{\text{к.ср}}^2}{\nu}, \quad (3.113)$$

где $r_{\text{к}}$ – радиус до начала ковша, м;

$R_{\text{б}}$ – радиус барабана, м;

$r_{\text{к.ср}}$ – средний радиус обрабатываемого корнеклубнеплода, м.

$$N_{\text{дв}} = \frac{f m_{\text{б}} g v_{\text{б}} + (0,3 \dots 0,4) Q_{\text{б}} \sum F_{\text{ков}} \rho_{\text{вод}} \omega_{\text{б}}^2 \mu_{\text{к}} + \frac{\mu_{\text{к}} \rho_{\text{в}} v_{\text{б}}^2 V_{\text{б}}}{t_{\text{б}}} + \mu_{\text{к}} (m_{\text{заг}} + m_{\text{в}}) g v_{\text{б}} + c_{\text{тр}} f_{\text{к.в}} g v_{\text{б}}}{\eta_1}.$$

Выводы

1. Для повышения эффективного использования корма и снижения удельных затрат на мойку корнеклубнеплодов установлена закономерность

преобразования входных потоков энергоносителей в максимальное энергосодержание конечного продукта.

2. Разработанные теоретические закономерности по определению производительности корнеклубнемоечных машин учитывают поведение жидкости в частично заполненном барабане с горизонтальной осью, процент исходной и конечной загрязненности корнеклубнеплодов (3.2 – 3.16).

3. Даны аналитические выражения, позволившие определить диаметр барабана равный 0,6 м, частоту его вращения 60 мин^{-1} , параметры магнетательных ковшей $a_k \times b_k = 64 \times 115 \text{ мм}$, количество ковшей в зависимости от востребованной производительности в пределах 12–48 шт. с шагом 65, 130 и 260 мм, затрачиваемой мощности. Длина барабана L_6 после вычислений (3.17) принята 1640 мм.

5. Разработана математическая модель (3.105) гидротурбинной корнеклубнемойки с частично заполненным барабаном, вращающимся в воде вокруг горизонтальной оси, позволяющая определить скорость перемещения внутри барабана и время выполнения совершенствование конструктивно - режимных параметров установки. В результате расчета скорость v_k для различных видов и загрязненности корнеклубнеплодов в барабанных гидротурбинных корнеклубнемойках находится в пределах 0,08–0,12 м/с.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТУРБИННОЙ БАРАБАННОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ

4.1 Принятые определения и допуски

Исследования фрагментов экспериментальной установки проводились с целью подтверждения адекватности теоретических разработок с практическими и определения параметров установки, которые невозможно определить теоретически. С этой целью были изготовлены отдельные фрагменты лабораторно производственной барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки (рисунок 4.1) включающей: 1 – ванну; 2 – рабочий барабан; 3 – выгрузной скребок; 4 – выгрузной лоток.

Основой создания экспериментальной машины являются знания физико-механических свойств материала, с которым она будет работать. Таким материалом, являются корнеклубнеплоды и их известные, мало изученные или практически не изученные физико-механические свойства (Приложение Е), в том числе истинная плотность исследуемых корнеклубнеплодов, определяемая без учета пустот, кажущая плотность, рассчитываемая, как отношение массы вещества ко всему занимаемому им объёму.



Рисунок 4.1 – Фрагмент лабораторно-производственной установки для мойки корнеклубнеплодов

1 – ванна; 2 – барабан; 3 – выгрузной скребок; 4 – выгрузной лоток; 5 – прозрачная стенка

Угол качения корнеклубнеплодов в воде по: текстолиту, стеклу небьющемуся, ДВП полированному, дереву полированному с синтетическим покрытием и другим конструкционным материалам.

Эллипсность, конусность, веретенообразность, корешковые углубления, центр тяжести и другие, которые практически мало известны в первоисточниках, но влияют на подвижность материала, его загрязненность, качество мойки и технологические параметры.

За производительность корнеклубнемоющей машины принимаем физическую производительность Q_{ϕ} как пропускную способность исходного материала со сложившейся загрязненностью в единицу времени

$$Q_{\phi} = \frac{60 \cdot m \cdot (100 - \delta_{\text{исх}} + \delta_{\text{ост}})}{100 t_{\text{в}}}, \quad (4.1)$$

где m – масса обрабатываемых корнеклубнеплодов, кг;

$\delta_{\text{исх}}$ – исходная загрязненность, %;

$\delta_{\text{ост}}$ – остаточная загрязненность, %.

$t_{\text{в}}$ – время пребывания корнеплодов в воде, мин.

Производительность $Q_{\text{э}}$ экспериментальной гидротурбинной корнеклубнемойки выразим в виде

$$Q_{\text{э}} = \frac{\pi D^2}{4} \varphi \rho_0 v_{\text{к}}, \quad (4.2)$$

где D – диаметр барабана, м;

φ – коэффициент заполнения барабана, %;

ρ_0 – удельная плотность продукта, кг/м³;

$v_{\text{к}}$ – продольная скорость перемещения корнеклубнеплодов, м/с.

где $v_{\text{к}} = \frac{L_{\text{б}}}{t_{\text{м}}}$.

В свою очередь продолжительность мойки $t_{\text{м}}$ равна

$$t_{\text{м}} = \frac{\delta_{\text{исх}} - \delta_{\text{ост}}}{\xi} = \frac{(\delta_{\text{исх}} - \delta_{\text{ост}}) \cdot t_i}{\delta_{\text{инт}}}, \quad (4.3)$$

где ξ – коэффициент интенсивности грязеотделения, %;

t_i – время интенсивного грязеотделения, мин;

$\delta_{\text{инт}}$ – удельная интенсивность грязеотделения.

$$\xi = \frac{\delta_i}{t_i} \text{ или } \xi = \frac{m_i}{t_i}. \quad (4.4)$$

Подставляем исходные данные в формулу (4.2) получим

$$Q_{\text{э}} = \frac{\pi D^2}{4} \varphi \rho_0 \frac{L_6 \delta_{\text{инт}}}{(\delta_{\text{исх}} - \delta_{\text{ост}}) \cdot t_i}. \quad (4.5)$$

обобщающую формулу определения производительности барабанной гидротурбинной корнеклубнеймойки.

4.2 Описание экспериментальной установки и результаты ее исследования

Для проведения исследования экспериментальной корнеклубнеймойки [23] была изготовлена установка (рисунок 4.2), в которую входят: весы 1 типа ЭТВУ-2, на которых установлен транспортер 2 корнеклубнейплодов с загрузочным бункером 3 для загрязненных корнеклубнейплодов; загрузочная воронка 4 для подачи корнеклубнейплодов внутрь барабана 6, вращающегося в воде и закрытого кожухом 5.

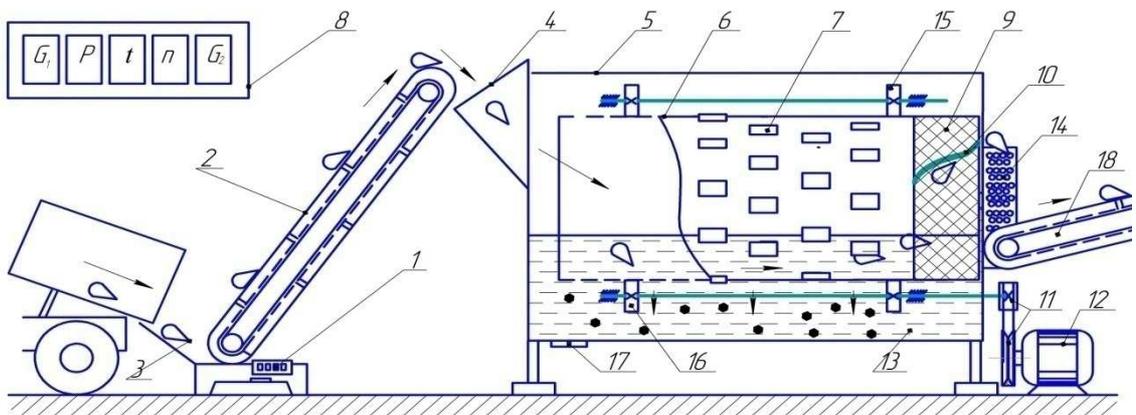


Рисунок 4.2 – Схема экспериментальной установки для исследования барабанной гидротурбинной корнеклубнеймойки

1 – весы; 2, 18 – транспортер; 3 – бункер загрязненных корнеклубнейплодов; 4 – загрузочная воронка; 5 – кожух; 6 – барабан; 7 – нагнетательные ковши; 8 – пульт управления; 9 – секция удаления воды и загрязнителей; 10 – выгрузной скребок; 11 – шкивы; 12 – регулируемый электродвигатель; 13 – грязеотстойник; 14 – лоток; 15 – прижимные ролики; 16 – опорно-ведущие ролики; 17 – заслонка

На барабане 6 установлены сменные элементы нагнетательных ковшей 7, состоящие из двух параллельных сегментов (рисунок 4.3), внутри которых

расположен козырек 8, имеющий возможность изменять угол атаки α , и закреплять фиксатором 9 поворот козырька относительно оси 10. Управление технологическим процессом осуществлялось с пульта 8 (рисунок 4.2), показывающего массу поступающих на обработку корнеплодов G_1 и массу обработанных G_2 корнеклубнеплодов, потребляемую мощность P , время нахождения корнеклубнеплодов в жидкости t , частоту вращения барабана n . В барабане после нагнетательных ковшей 7 предусмотрена секция 9 удаления воды и загрязнителей, в которой установлен выгрузной скребок 10 для вывода вымытых корнеклубнеплодов. Для привода барабана 6 предусмотрены сменные шкивы 11, соединенные эластичной трансмиссией от четырехскоростного асинхронного электродвигателя 12 серии АО2-62-12/8/6/4 (500/750/1000/1500 мин⁻¹). Мощность электродвигателя соответственно частоте вращения ($n_1 = 470$ мин⁻¹/ $n_2 = 700$ мин⁻¹/ $n_3 = 910$ мин⁻¹/ $n_4 = 1400$ мин⁻¹) составляет, кВт ($P_1 = 2,0/P_2 = 4,0/P_3 = 4,6/P_4 = 6,5$). КПД % для каждого режима ($\eta_1 = 65,0/\eta_2 = 75,0/\eta_3 = 76,0/\eta_4 = 79,0$). При номинальной нагрузке ($\cos \varphi_1 = 0,55/\cos \varphi_2 = 0,76/\cos \varphi_3 = 0,90/\cos \varphi_4 = 0,92$). В нижней части барабана предусмотрены грязеотстойники 13, из которых через заслонки 17 удаляли и взвешивали грязь. Барабан 6 установлен на 4 опорно – ведущих роликах 16, а сверху удерживается от смещения прижимными роликами 15. Вымытые корнеплоды по лотку 14 выводятся на транспортер 18 в контрольные емкости. После обработки одной порции корнеплодов спускали отстой грязи в грязесборник. Для контроля качества процесса мойки выбирали навеску из пяти корнеплодов и по известной методике определяли остаточную загрязненность и потерю исходной массы.

4.2.1 Работа гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

Перед началом работы осматривали экспериментальную установку на отсутствие посторонних предметов. Включали в работу на холостом ходу выгрузной транспортер 18, рабочий барабан 6, загрузочный транспортер 2 с

пульта управления 8. Устанавливали минимальную частоту вращения электродвигателя 12, выгрузной скребок 10 устанавливали на минимальную производительность. Заполняли ванну гидротурбинной корнеклубнемойки водой, на высоту 1/3 части диаметра барабана. В бункер 3 загружали взвешенные загрязненные корнеклубнеплоды. С помощью электронных весов 1 определяли их массу. Под выгрузной транспортер 18 устанавливали контрольную емкость. Определяли исходную массу загрязненных корнеклубнеплодов. Включали в работу выгрузной транспортер 18, барабан 6 и после вхождения его в рабочий режим включали транспортер 2. По показаниям электронных весов 1 определяли массу загруженных корнеплодов. По времени заполнения контрольных емкостей вымытыми корнеклубнеплодами и определенной их массы рассчитывали производительность установки. Определяли остаточную загрязненность вымытых корнеклубнеплодов, после чего производили корректировку производительности и качества конечного продукта с помощью выгрузного скребка 10. Массу отработанной воды и загрязнителей собирали в грязесборник, расположенный под рамой барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки.

4.3 Методика экспериментального исследования гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

Для определения оптимальных конструктивно-режимных параметров корнеклубнемойки в нагнетательной секции 7 (рисунок 4.3) устанавливали козырек 8 ковшей под углом $\alpha = 5^\circ$ и включали в работу барабанную корнеклубнемойку. В бункер 3 загружали 100 кг грязных корнеклубнеплодов с загрязненностью 2,8; 3,5; 6,0; 10,0 %. Вымытые корнеклубнеплоды собирали в мерную емкость и фиксировали время опыта, после чего определяли качество мойки корнеклубнеплодов и производительность установки. Затем устанавливали козырек 8 под углом 10° , 20° , 45° , 75° и

обрабатывали по 100 кг корнеклубнеплодов. Для следующего опыта загружали 150, 200, 500 кг.

Ранее установленные торцевые ковши для подачи струй воды в продольном направлении согласно патента [59], из-за сложности конструкции системы регулирования и упрощения экспериментальной установки были исключены, а функцию перемещения воды по продольной оси барабана переложили на секцию удаления воды и загрязнителей с поверхности корнеклубнеплодов.

Вновь введенная секция 9 (рисунок 4.2) для удаления воды и загрязнителей, работая в режиме центрифугирования обеспечивала удаление воды с поверхности корнеклубнеплодов, делая их сухими и чистыми, а также сбрасывая с их поверхности прилипшие загрязнители, что позволяло проводить мойку корнеклубнеплодов в более загрязненной воде, в которой песчинки в воде обеспечивали лучшее качество мойки.

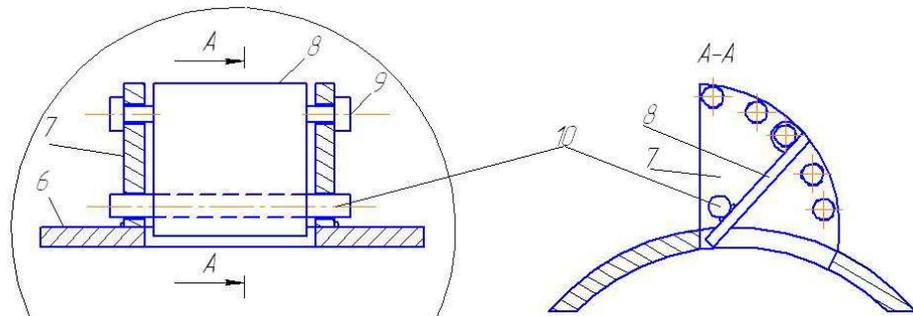


Рисунок 4.3 – Схема фрагмента нагнетательных ковшей корнеклубнемойки
6 – барабан; 7 – сегмент нагнетательной секции ковша; 8 – козырек; 9 – фиксатор;
10 – ось козырька

Проводили испытания трех моделей выгрузных скребков 14 для вывода вымытых корнеклубнеплодов из секции l_4 барабана 6 (рисунок 4.4).

Модель скребка плоской формы с гладкой поверхностью применяется для сбрасывания сыпучих материалов с лент транспортеров [28], устанавливаемого под углом трения к движению груза, будучи смонтированным в барабане (рисунок 4.4 а), показала отрицательные свойства технологического процесса разгрузки в виде повреждения

отдельных корнеклубнеплодов при встрече со скребком и при ударе во время разгрузки в режиме центрифугирования.

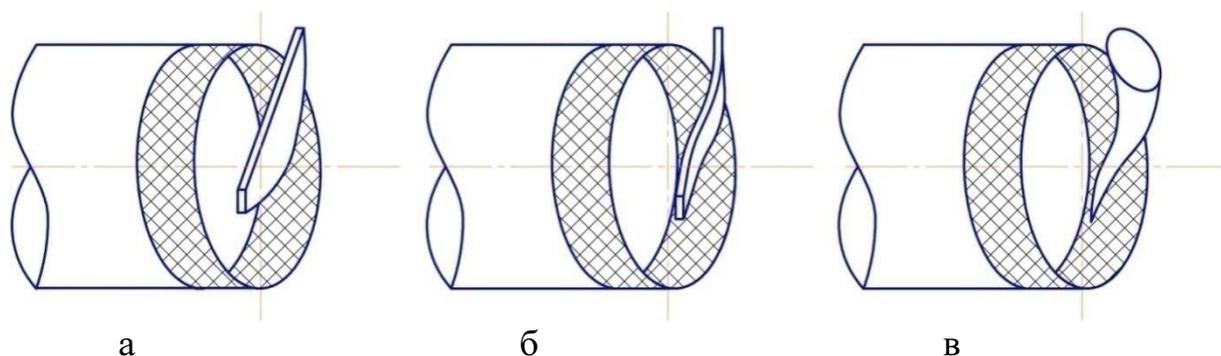


Рисунок 4.4 – Схемы моделей выгрузных скребков корнеклубнеплодов из барабана
а – плоской формы; б – S-образной формы; в – комбинированный (пространственный)

Вторая модель [46] (рисунок 4.4б) – скребок S-образной формы обеспечивала мягкий вывод корнеклубнеплодов, но на входе, так же как и у первой модели, сохраняла повреждаемость продукта на больших окружных скоростях барабана.

Третья модель (рисунок 4.4в) – в виде рога S-образной формы [47], обеспечивала минимальное повреждение корнеклубнеплодов и максимальное их контактирование с поверхностью скребка, создавая наилучшие условия выгрузки и их очистки.

Опыты проводили в следующей очередности: через бункер 3 (рисунок 4.2) загружали навеску корнеклубнеплодов со степенью исходной загрязненности $\delta_{исх}$ 2,8; 3,5; 6,0; 9,9 % и массой 25, 50, 100, 150, 200 кг. Высокую загрязненность порции стабилизировали путем пропускания исходной массы через вибротранспортер - очиститель, низкую – стабилизировали нанесением жидкой массы из глины, чернозема и песка на корнеклубнеплоды с последующей подсушкой на воздухе до 15-27% влажности.

Корнеклубнеплоды из бункера 3 транспортером 2 подавали через загрузочную воронку 4 во вращающийся барабан 6 при установившемся режиме частоты вращения n , времени экспозиции t или производительности

Q. В барабане 6 корнеклубнеплоды в месте загрузки образовывали ворох с углом $\approx \varphi + \Delta\varphi$ – пересыпались вдоль барабана, пронизывались струями воды из ванны с помощью нагнетательных ковшей, увлекались во вращательное движение, отмыкались, перетирались друг о друга о стенки барабана, отталкивались от стенок барабана и перемещались потоком воды к секции удаления воды и загрязнителей и выгружались. Здесь происходит интенсивное промывание корнеклубнеплодов под действием центробежных сил воды, выбрасываемой из барабана в ванну, с одновременным отделением поверхностной влаги и загрязнителей с выведением их из барабана 6 скребком 10 на лоток 14 и подачей в контрольную емкость. Затем вымытые корнеклубнеплоды завешивали и определяли степень остаточной загрязненности по методике [22].

Опыты проводили в пятикратной повторности, полученные результаты обрабатывали в виде графических зависимостей и сравнивали с теоретическими идентичными предпосылками.

4.4 Сравнительный анализ исследования гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

Исследование гидротурбинной корнеклубнемойки производственного образца проводили на установке (рисунок 4.5), в которой барабан 5 был установлен на четырех опорно-ведущих роликах 13, а сверху прижимался двумя прижимными роликами 6. Кроме этого, ковши на вытяжных секциях и торцевые нагнетательные ковши были исключены по технологическим соображениям.

Установка включает: облегченную раму 1, расположенную над бетонным грязесборником 2, в который направлена сливная трубка 3, расположенная в нижней части ванны 4, в которой находится барабан 5 и сверху прижимается роликами 6.

Для управления технологическим процессом предусмотрен пульт 7 с контрольно-измерительными приборами 8. С торца барабана расположена

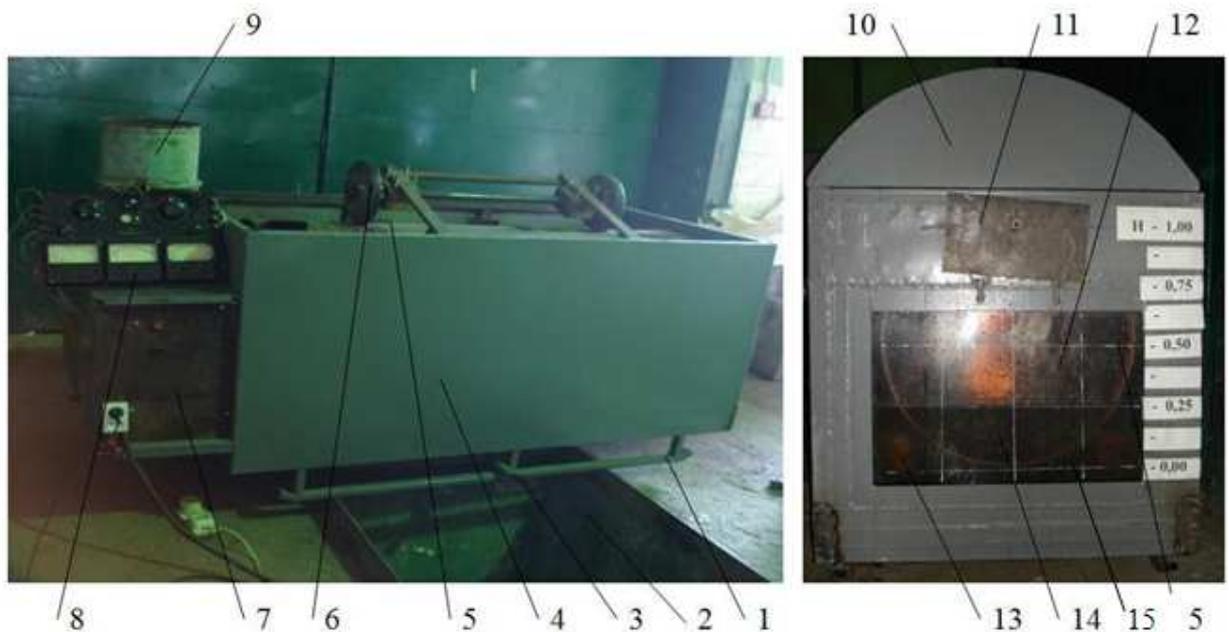


Рисунок 4.5 – Общий вид гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

1 – рама; 2 – грязесборник; 3 – сливная трубка; 4 – ванна; 5 – барабан; 6 – прижимные ролики; 7 – пульт управления; 8 – контрольно-измерительные приборы; 9 – загрузочная воронка; 10 – крышка; 11 – выгрузная горловина; 12 – прозрачная стенка с координатной сеткой; 13 – опорно-ведущие ролики; 14 – вода; 15 – корнеклубнеплоды

загрузочная воронка 9, а с противоположной стороны – выгрузная горловина 11. Ванна 4 закрывается герметично крышкой 10. Для контроля протекания технологического процесса внутри барабана предусмотрена торцевая прозрачная стенка с координатной сеткой 12.

Эффективность работы гидротурбинной корнеклубнемойки, кроме известных параметров, зависит от поведения воды 14 во вращающемся барабане 5 с горизонтально расположенной осью. Вода подвергается воздействию со стороны гравитационного поля и поля центробежной силы.

Поле центробежной силы модулировано осциллирующим во вращающейся системе полем тяжести. Интенсивность осцилляционного воздействия оказывается решающим фактором, определяющим возможность существования центрифугированного распределения воды.

Интенсивность осцилляционного воздействия характеризуется показаниями параметров $\Gamma = g/\Omega^2 R$ (рисунок 4.6). Теоретические зависимости показывают соответствие полученных опытных данных в том, что при высоких значениях Γ (медленное вращение) жидкость

распределяется неравномерно вдоль поверхности барабана. Выделенная оптимальная зона работы корнеклубнемойки ограничена при указанной частоте вращения $n = 20, 30, 50, 60 \text{ мин}^{-1}$ минимальным радиусом барабана $0,1 \text{ м}$ из-за невозможности обработки корнеклубнеплодов с диаметром 20 и более мм, а максимальным - радиус $0,35 \text{ м}$ из-за повышенного повреждения корнеклубнеплодов и пускового момента загруженного корнеклубнеплодами барабана (при вынужденных остановках).

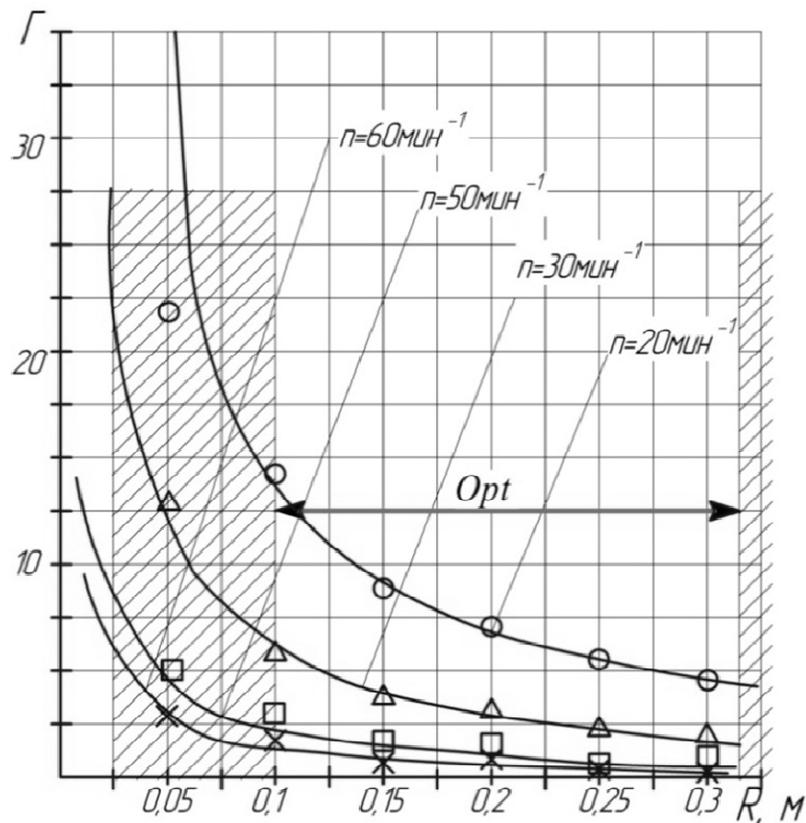


Рисунок 4.6 – Интенсивность осцилляционного воздействия воды в барабане гидротурбинной корнеклубнемойки

Исследование экспериментальной корнеклубнемойки проводили на четырех режимах. Первый режим ($n = 20 \text{ мин}^{-1}$) копировал основные параметры барабанной корнеклубнемойки, работающей на высоких значениях Γ , указанных в первоисточнике [25].

Второй, третий и четвертый режимы – это режимы теоретически обоснованных предпосылок, для исследования конструктивно–режимных параметров, предусматривающих (рисунок 4.7) возможность

дополнительного монтажа на барабане 1 корнеклубнемойки нагнетательных ковшей 2, а также секции удаления воды и загрязнителей с поверхности корнеклубнеплодов при меньшем расходе воды и высоком качестве мойки. Увеличение частоты вращения барабана в 2 – 3 раза (режим центрифугирования), позволяет равномерное распределение толщины воды вдоль внутренней поверхности барабана 1 в отличие от базового (щеточно-барабанная). Кроме этого вместо щеток и душирующих труб неработающих на низком Γ предусмотрен скребок S - образной, пространственной формы в виде рога, обеспечивающий спокойный вывод без травмирования корнеклубнеплодов из барабана.

Производительность барабанной корнеклубнемойки определяли по известной методике [22].

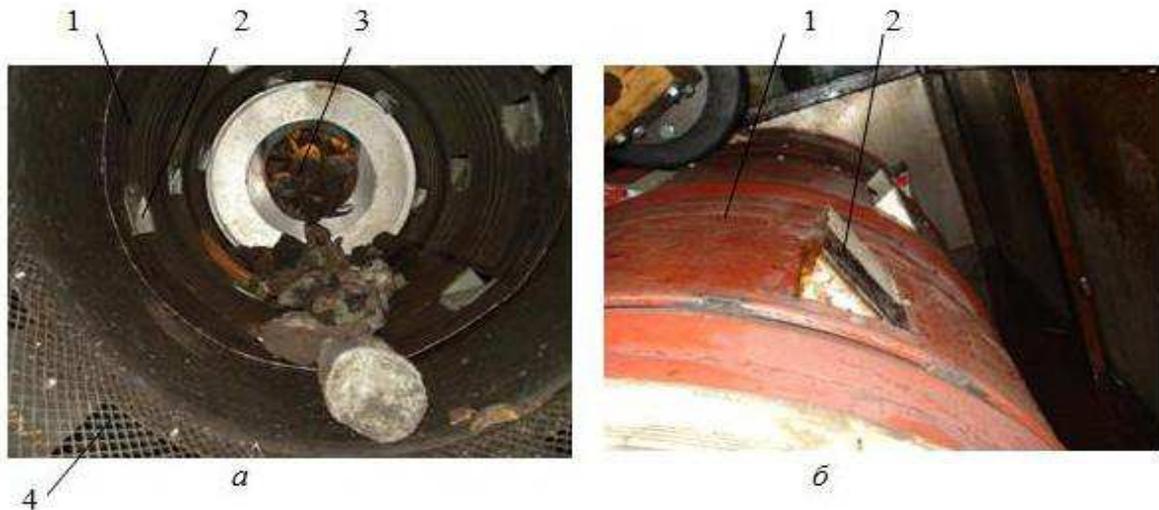


Рисунок 4.7 – Фрагменты гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки:

а – вид из барабана; *б* – вид на барабан.

1 – барабан; 2 – ковши; 3 – загрузочная воронка; 4 – секция выгрузки, удаления воды и грязи с корнеклубнеплодов

Определяли исходную загрязненность $\delta_{исх}$ сахарной свёклы, кормовой свёклы, моркови и картофеля в пределах 2,8; 3,5; 6,0; 9,9 % по выражению

$$\delta_{исх} = \frac{P_1 - P_3}{P_1} \cdot 100\%, \quad (4.6)$$

а остаточную загрязненность $\delta_{ост}$ по уравнению [22]

$$\delta_{ост} = \frac{P_2 - P_3}{P_2} \cdot 100\%, \quad (4.7)$$

где P_1 – масса порций корнеклубнеплодов до мойки, кг;

P_2 – масса порций корнеклубнеплодов после мойки, кг;

P_3 – масса порций совершенно чистых, отмытых вручную корнеклубнеплодов, кг.

Перед пуском в работу корнеклубнемойки (рисунок 4.8) в лабораторно-производственных условиях корнеклубнеплоды с исходной загрязненностью 2,8; 3,5; 6,0; 9,9 % раскладывали ровным слоем на подающем транспортере.



Рисунок 4.8 –Испытания барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки *а* – главный вид лабораторной установки; *б* – вид на линию подачи корнеклубнеплодов в кормушки коровника; *в* – вид на загрузочный транспортер отделитель механических примесей; *г* – вид на транспортер подачи корнеклубнеплодов в кормушку на выгульной площадке для КРС

Для каждого варианта исследования задавали коэффициент заполнения барабана $\varphi = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$, устанавливали его частоту вращения равную 20; 30 мин⁻¹, с одним выгрузным черпаком, вмещающим массу 1,35 кг, и затем с двумя выгрузными черпаками, вмещающими массу 2,5 кг. После достижения установившегося режима частоты вращения барабана включали

в работу транспортер ТК-5.0 с подачей в него предварительно взвешенной порции (100, 200, 300, 400, 500 кг) корнеклубнеплодов. Под выгрузной транспортер устанавливали мерную емкость и фиксировали время обработки навески секундомером.

Собранную массу корнеклубнеплодов взвешивали на платформенных весах РЦ-600ц13б. Определяли производительность и степень остаточной загрязненности. Время обработки измеряли по хронометру, а частоту – электронным частотомером, потребляемую мощность фиксировались по показаниям приборов на контрольном щитке К-50 (рисунок 4.9), включающем: вольтметр 1, амперметр 2 и ваттметр 3.



Рисунок 4.9 – Контрольно-измерительный щиток К-50
Расположены слева направо: 1 – вольтметр; 2 – амперметр; 3 – ваттметр

Полученные результаты обрабатывали по программе Mathcad и строили графики $Q = f(n)$ (рисунок 4.10). Из анализа которых следует, что при коэффициенте заполнения барабана, равном 0,1 (зависимость 1) и частоте вращения 10 мин^{-1} видно, что Q составила 800 кг/ч . С увеличением n до 20 мин^{-1} производительность возрастала линейно, после чего увеличение Q приобрело криволинейный характер. Масса вычерпываемых черпаков корнеклубнеплодов составлял $1,35 \text{ кг}$. Увеличение φ барабана с 0,1 до 0,2 увеличило (зависимость 2) Q в два раза при $n = 10 \text{ мин}^{-1}$.

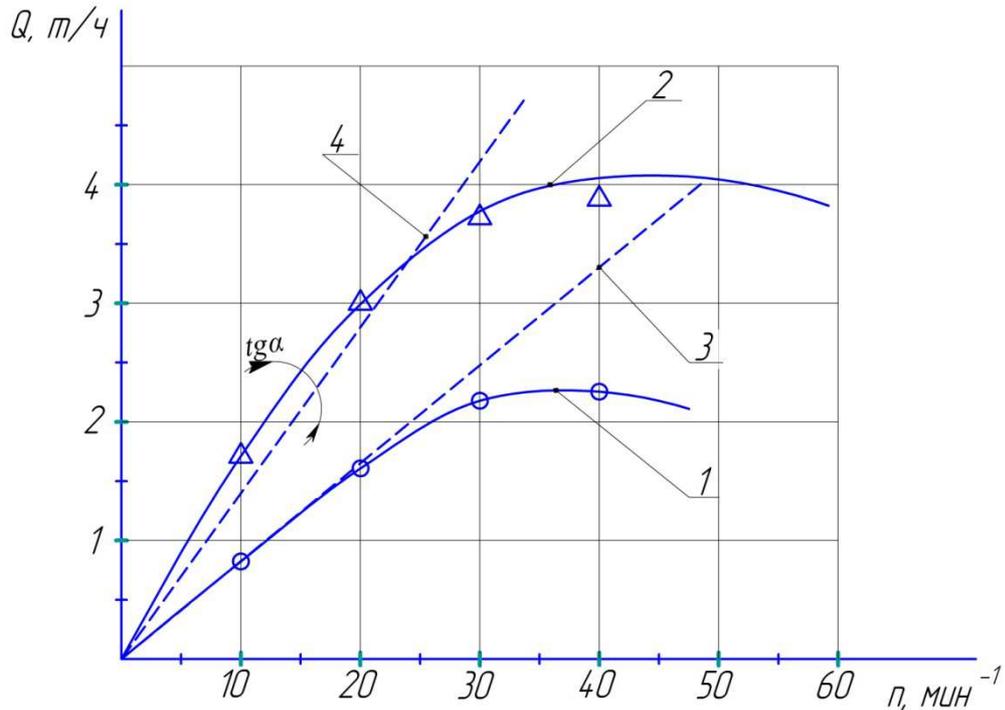


Рисунок 4.10—Производительность барабанной корнеклубнемойки с выгрузными черпаками в зависимости от частоты вращения при обработке сахарной свёклы с $\delta_{исх} = 9.9\%$ и влажностью загрязнителя 17.1% , с расходом воды 310 л/т продукта, потери массы $5,2\%$, повреждаемость кожуры $9,9\%$.
 1 – график производительности корнеклубнемойки при одном выгрузном черпаке;
 2 – график производительности корнеклубнемойки при двух выгрузных черпаках;
 3 – график теоретической зависимости производительности корнеклубнемойки с одним выгрузным черпаком;
 4 – график теоретической зависимости производительности корнеклубнемойки с двумя выгрузными черпакам;

Рост Q наблюдался по линейной зависимости до частоты вращения 20 мин⁻¹ как при одном, так и при двух выгрузных черпаках. Увеличение n с 20 до 30 мин⁻¹ снизило интенсивность роста Q при одном выгрузном черпаке до 2260 кг/ч и при двух черпаках до 3800 кг/ч. Приращение Q в интервале от 30 до 40 мин⁻¹ составило около $1-2\%$ в результате того, что часть корнеклубнеплодов (рисунок 4.11), под действием центробежных сил стала увлекаться на повторное вращение, при этом остаточная загрязненность возросла более чем на $3,0\%$.

Частота вращения барабана в пределах $10-15$ мин⁻¹ дает низкую производительность, а качество мойки не достигает установленных зоотехнических норм ($2,0-3,0\%$), при экспозиции не более 6 мин, что подтверждает влияние высоких значений Γ (рисунок 4.6). Частота вращения

барабана более $30 - 35 \text{ мин}^{-1}$ (рисунок 4.11) ведет к прекращению пересыпания почти всех корнеклубнеплодов в барабане и они вовлекаются во вращательное движение, в результате чего снижается производительность относительно теоретических расчетов до 1,5 раз, которые показаны штриховой линией на рисунке 4.10.



Рисунок 4.11 – Поведение корнеклубнеплодов при частоте вращения барабана $\rightarrow n_{кр}$

Увеличение φ с 0,1 до 0,2 дало приращение Q при $n = 10 \text{ мин}^{-1}$ на 6 – 10 %. Дальнейшее увеличение φ до 0,3 и 0,4 на производительности корнеклубнемойки практически не отразилось.

При исследовании гидротурбинной корнеклубнемойки на барабане которого были установлены ковши в 3 ряда, по 3 шт. в ряду, производили обработку сахарной свёклы (рисунок 4.12) с $\delta_{исх} = 9,9 \%$ и $n = 60 \text{ мин}^{-1}$, с коэффициентом заполнения $\varphi = 0,35$ и $Q = 15 \text{ т/ч}$, которые обеспечили среднюю $\delta_{ост}$ более 3,7 %. При этом интенсивность воздействия водяных струй на корнеклубнеплоды $\Omega = 2100 \text{ (т}\cdot\text{ч)}^{-1}$ (зависимость 1). Затем монтировали на барабане нагнетательные ковши (3×4 шт.) и устанавливали частоту вращения 40; 50; 60; 70 мин^{-1} для экспериментальной корнеклубнемойки.

С увеличением числа нагнетательных ковшей по длине барабана до 4 ковшей в ряду загрязненность корнеклубнеплодов снизилась на 3,25 %.

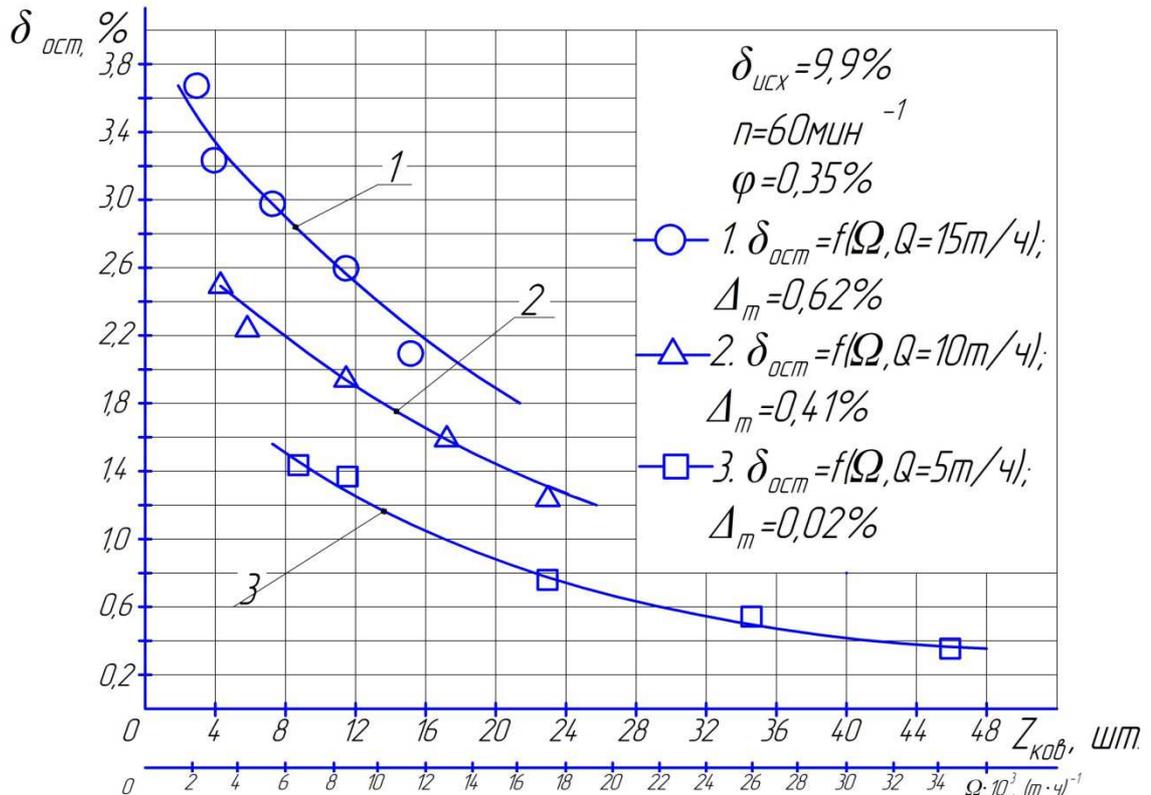


Рисунок 4.12 – Зависимость качества мойки $\delta_{ост}$ от числа воздействий водяных струй Ω на тонну корнеплодов при влажности загрязнителя 17 % и повреждаемости корнеплодов Δ_m , %, расход воды 175 – 250 л/т

Удваивание ковшей по окружности барабана (6×4) увеличило Ω до 5700 (т·ч)⁻¹, что снизило $\delta_{ост}$ до 2,9 %. Корнеклубнеплоды двигались вдоль барабана волнообразно (сгруппированно). Дальнейшее добавление ковшей (6×6 = 36 шт.) повысило равномерность распределения корнеклубнеплодов в водяном потоке и снизило $\delta_{ост}$ на 0,32 %. Увеличение количества ковшей в ряду до 8 с сохранением 6 шт. по окружности улучшило качество мойки до 2,19 %, причем отдельные корнеклубнеплоды имели загрязненность 2,86 %. При таком режиме работы барабан корнеклубнемойки подвсплывал и ведущие ролики пробуксовывали, что потребовало установки двух прижимных роликов (рисунок 4.5, поз. б), а электродвигатель потреблял более 2,5 кВт·ч. По этим причинам количество нагнетательных ковшей на барабане решено больше не увеличивать.

При работе корнеклубнемойки с $Q = 10$ т/ч сохранился криволинейный характер снижения остаточной загрязненности (зависимость 2) с ростом количества ковшей и интенсивностью воздействия водяных струй. Так, при $Z_{\text{ков}} = 3 \times 4 = 12$ шт. снизило остаточную загрязненность в среднем до 2,5 %. Удваивание нагнетательных ковшей до 24 шт. снизило $\delta_{\text{ост}}$ до 1,88 %, а до $Z_{\text{ков}} = 36$ шт и затем до – 48 шт. соответственно – $\delta_{\text{ост}}$ составило 1,67 и 1,29 %. При $\Omega = 4320, 8600, 13000$ и 17300 раз/т. На всех режимах работы не наблюдалось отдельных корнеклубнеплодов с загрязненностью более зоотехнических норм.

При $Q = 5$ т/ч характер кривой (зависимость 3) сохранился, $\delta_{\text{ост}}$ варьировала от 1,4 % при 9 ковшах до 1,22 при 12, затем 24, 36 и 48 ковшах 0,95, 0,59, 0,35 % загрязненности при соответствующих $\Omega = 6480, 8670, 17200, 25900$ и 34500 (т·ч)⁻¹.

Увеличение Q на существующем типе корнеклубнемоек привело к снижению качества конечного продукта и росту удельной энергоемкости с 0,25 кВт·ч/т до 0,51 кВт ч/т, что подтверждает теоретические выкладки.

Зависимость изменений качества $\delta_{\text{ост}}$ обработки корнеклубнеплодов от числа ковшей $Z_{\text{ков}}$ (рисунок 4.12) на барабане корнеклубнемойки при постоянных n и φ выражаются полиномом 2-го порядка. Значение зависимости 1 для $Q_1 = 15$ т/ч запишется в виде $\delta_{1\text{ост}} = 0,0013Z_{\text{ков}}^2 - 0,1268Z_{\text{ков}} + 4,0$. Среднеквадратическое отклонение ошибки $R_1^2 = 0,9945$.

Для зависимости 2, $Q_2 = 10$ т/ч, $\delta_{2\text{ост}} = 0,0104Z_{\text{ков}}^2 - 1,0889Z_{\text{ков}} + 36,798$. При $R_2^2 = 0,958$.

Для зависимости 3, $Q_3 = 5$ т/ч, $\delta_{3\text{ост}} = 0,0012Z_{\text{ков}}^2 - 0,0954Z_{\text{ков}} + 2,2388$. При $R_3^2 = 0,9998$.

Совершенствование аналога барабанной корнеклубнемоющей машины достигается за счет разработки и внедрения гидротурбинной корнеклубнемойки [59]. Она совмещает в себе положительные свойства барабанной корнеклубнемойки по простоте конструкции, эксплуатационной

надежности и минимальной материалоемкости. Интенсификация данного типа корнеклубнемойки (рисунок 4.7) достигнута путем увеличения частоты вращения барабана до режима центрифугирования, установки на барабане 1 нагнетательных ковшей 2 и секции 4 удаления отработанной воды и загрязнителей через слои корнеклубнеплодов.

Вывод чистых корнеклубнеплодов (рисунок 4.13) из барабана 2, вращающегося в ванне 1 осуществляется через секцию 3 с помощью выгрузного скребка 4.

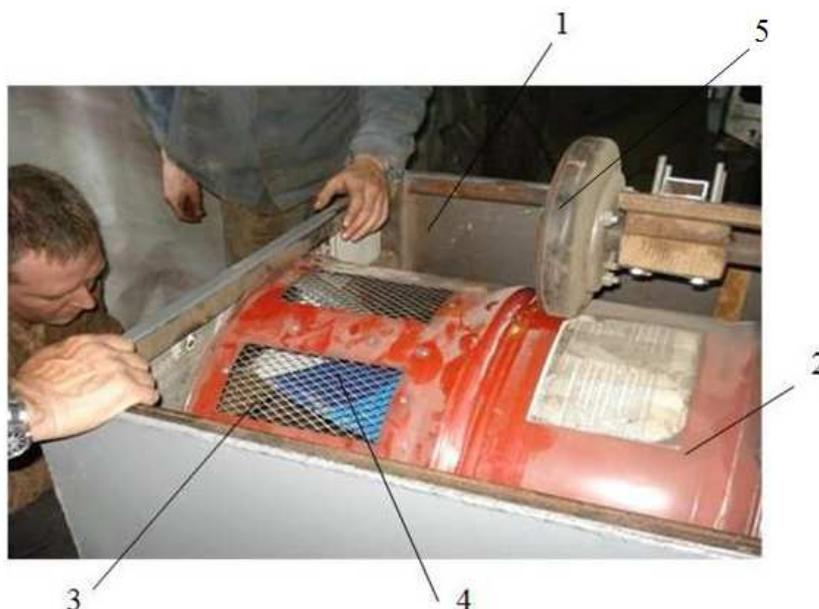


Рисунок 4.13 – Вид секции выгрузки, удаления воды и загрязнителей корнеклубнеплодов из барабана

1 – ванна; 2 – барабан; 3 – секция удаления воды и загрязнителей; 4 – выгрузной скребок; 5 – прижимной ролик

Скорость перемещения потока корнеклубнеплодов вдоль продольной оси барабана осуществляется за счет установки угла атаки выгрузного скребка в секции удаления воды и загрязнителей.

Проведенные исследования корнеклубнемойки на обработке сахарной свёклы с исходной загрязненностью 6,0 % подтвердили рост Q (рисунок 4.14) по конечному продукту от v_b , при частоте вращения барабана 50 – 60 мин⁻¹.

Из анализа полученных зависимостей видим, что при коэффициенте заполнения барабана $\varphi = 0,1$ (зависимость 1) с постоянной $n = 60$ мин⁻¹ при $v_6 = 0,025$ м/с и исходной загрязненности 6,0 % корнеклубнеплодов

производительность мойки составила 2,65 т/ч, которая ниже теоретической на 0,06 т/ч, $\delta_{\text{ост}} = 1,0 - 1,2 \%$. Расход воды не превышает 160 л/т продукта.

Рост скорости продольного потока обрабатываемых корнеклубнеплодов до 0,027 м/с увеличил производительность корнеклубнемойки до 3,25 т/ч вместо теоретической 3,31 т/ч при средней остаточной загрязненности 1,4 %.

Увеличение v_e до 0,003 м/с обеспечило рост Q на 0,20 т/ч вместо расчетной 3,6 т/ч при увеличении остаточной загрязненности на 0,1 %.

Расход воды составлял 160 – 170 л/т корнеклубнеплодов.

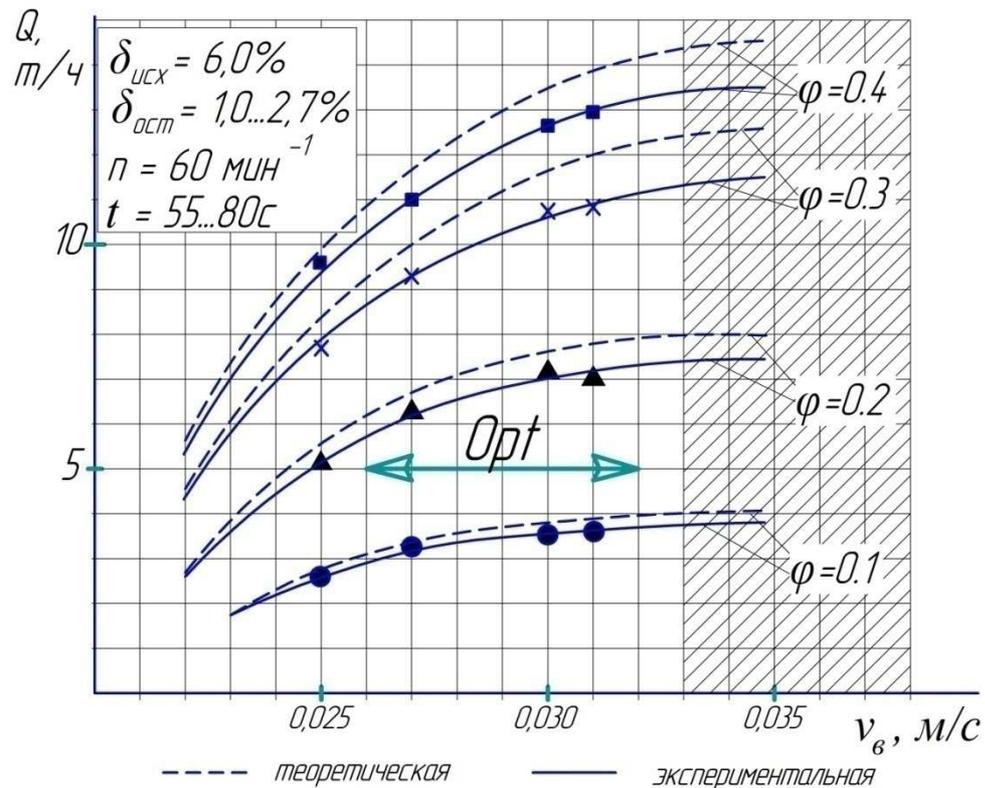


Рисунок 4.14 – Графики зависимости производительности Q гидротурбинной корнеклубнемойки на мойке сахарной свёклы от скорости v_e при влажности загрязнителя 17.1 %

Увеличение v_e до 0,031 м/с, увеличило Q мойки с 3,45 до 3,6 т/ч вместо 3,8 т/ч. Качество готового продукта $\delta_{\text{ост}}$ варьировало в пределах 1,5 – 1,7 %.

Увеличение скорости перемещения продольного потока корнеклубнеплодов ведет к росту производительности и снижению качества. Чтобы обеспечить требуемое по зоотехническим нормам качество готового продукта, производительность корнеклубнемоечной машины задавали путем

изменения угла установки выгрузного скребка, т.е. изменяли время нахождения корнеклубнеплодов под воздействием водяных струй (рисунок 4.15). Увеличение коэффициента φ в 2 раза (зависимость 2) при продольной скорости потока 0,025 м/с привело к росту производительности до 5,1 т/ч при теоретической 5,7 со средней $\delta_{\text{ост}} = 1,1 \%$, а при скорости v_e потока внутри барабана 0,027 м/с увеличило Q до 6,2 т/ч вместо 6,5 т/ч.

При $v_e = 0,030$ м/с производительность достигла 7,1 вместо 7,6 т/ч.

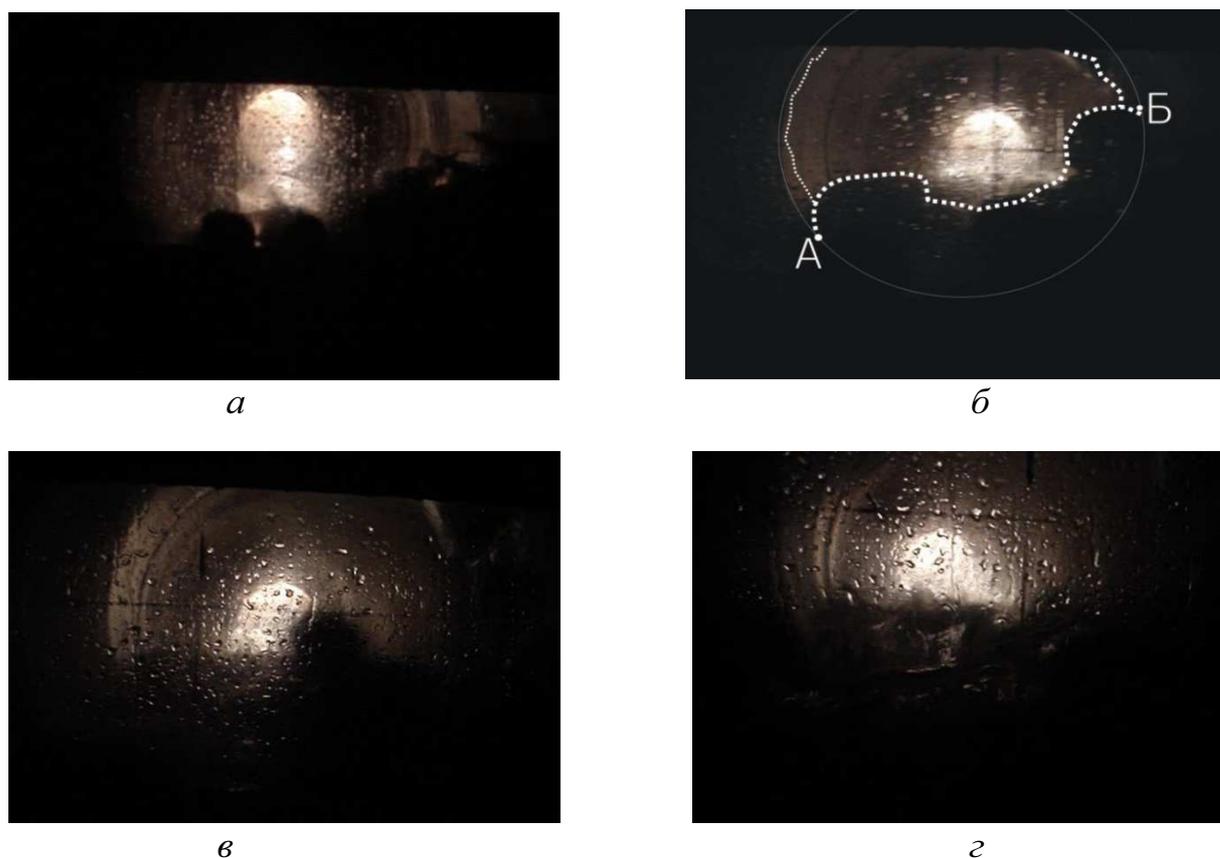


Рисунок 4.15 – Схема воздействия водяных струй на корнеклубнеплоды в барабане при частоте вращения $n = 60 \text{ мин}^{-1}$

а – корнеклубнеплоды увлекаются внутренней стенкой барабана вверх; *б* – водяные струи пронизывают корнеклубнеплоды и отбрасывают их внутрь барабана; *в* – корнеклубнеплод, перелетая по криволинейной траектории, подвергаются воздействию водяных струй; *г* – корнеклубнеплод падает на движущиеся вдоль барабана в водяном потоке корнеклубнеплоды

Дальнейшая теоретическая производительность возросла до $Q = 7,9$ т/ч, а фактическая – приостановилась в результате ухудшения качества мойки, вызванного снижением времени нахождения корнеклубнеплодов в воде с 70 до 65 с.

Коэффициент $\delta_{\text{ост}}$ колебался в пределах от 1,3 до 1,5 %. Увеличение коэффициента загрузки барабана до $\varphi = 0,3$ привело к росту производительности корнеклубнемойки с 7,9 при скорости $v_e = 0,025$ м/с до 10,9 т/ч. При Q теоретической 12 т/ч и скорости 0,031 м/с $\delta_{\text{ост}}$ корнеклубнеплодов варьировала в пределах от 1,5 до 1,6 %.

Увеличение φ до 0,4 дало приращение Q до 9,6 т/ч при Q теоретической, равной 10 т/ч и скорости $v_e = 0,025$ м/с. Увеличение v_e до 0,027; 0,030; 0,031 м/с дало соответственно рост производительности до 10,0; 11,0; 13,4 т/ч при Q теоретической 10,1; 11,6; 12,8; 14,2 т/ч. Остаточная загрязненность корнеклубнеплодов составляла не более 1,9 – 2,5 %.

Время нахождения корнеклубнеплодов в воде при скорости 0,025 м/с составляло в среднем 70 с. При $v_e = 0,027$ м/с это время уменьшилось на 5 с. При скорости перемещения продукта 0,030 м/с, корнеклубнеплоды подвергались воздействию водяных струй, в течение 58 с, а при v_e 0,031 м/с – 56 с. Уменьшение времени нахождения корнеклубнеплодов под действием водяных струй существенно снижает качество мойки с 1,5 до 2,5 %.

Гидротурбинная барабанная корнеклубнемойка может обрабатывать практически все виды корнеклубнеплодов с загрязненностью 1,0 – 20,0 %.

В зависимости от $\delta_{\text{исх}}$ обрабатываемого продукта требуется настраивать степень заполнения рабочего объема барабана и скорость перемещения потока внутри его. На основании проведенных исследований и полученных данных были построены графики зависимости производительности мойки Q от степени исходной загрязненности корнеклубнеплодов $\delta_{\text{исх}}$ (рисунок 4.16).

Анализируя графики (рисунок 4.16 а), видим, что при $\varphi = 0,1$ и перемещении потока свёклы вдоль барабана с $v_e = 0,027$ м/с Q корнеклубнемойки составляет 3,25 т/ч при $\delta_{\text{исх}} = 2,8$ %. При загрязненности корнеклубнеплодов 3,5 % производительность корнеклубнемойки снижается до 3,21 т/ч, а при 6,0 % (рисунок 4.17) составляет 3,16 т/ч. С максимальной

загрязненностью корнеклубнеплодов 9,9% производительность корнеклубнеплода по выходу качественной продукции составила 3,12 т/ч.

При $v_e = 0,031$ м/с показало такую же зависимость по снижению Q с 3,67 т/ч при загрязненности 2,8 % до 3,4 т/ч, как при загрязненности 9,9 %.

С увеличением (рисунок 4.16 б) φ до 0,2, при $v_e = 0,027$ м/с производительность с 6,6 т/ч снижалась до 6,18 т/ч при $\delta_{исх} = 9,9$ %.

Увеличение φ до 0,3 показало (рисунок 4.16 в) линейный характер снижения Q при скорости 0,027 м/с с 10 т/ч до 9,3 т/ч при загрязненности 10 %.

Увеличение v_e до 0,03 м/с сохранило линейный характер снижения Q с 10,9 т/ч при загрязненности 2,8 % до 10,18 т/ч при $\delta_{исх} = 9,9$ %.

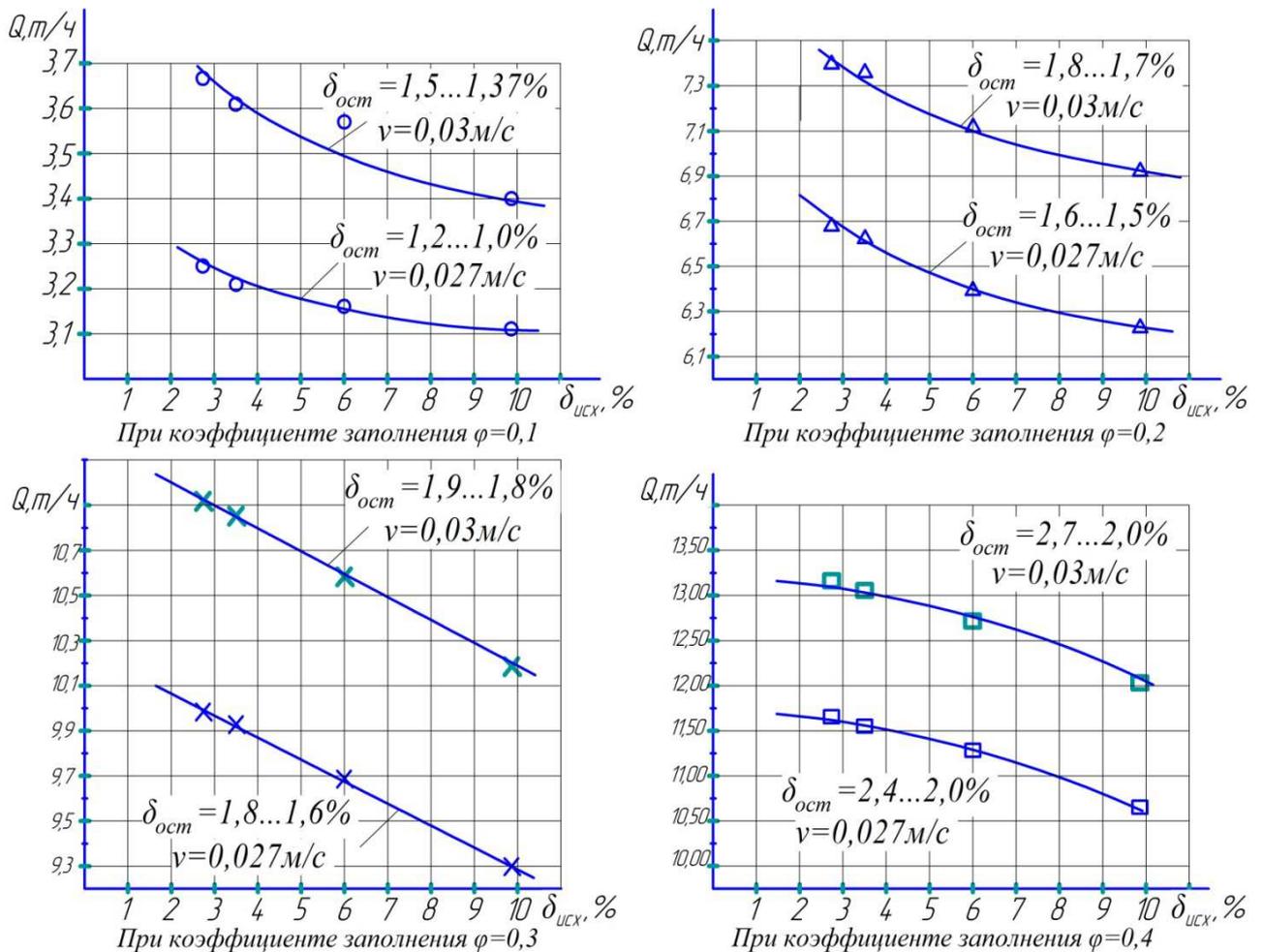


Рисунок 4.16 – Графики зависимости производительности Q корнеклубнеплода от степени исходной загрязненности $\delta_{исх}$ корнеклубнеплодов, при $\Delta_m = (0,3-0,6)\%$

При загрузке барабана до $\varphi = 0,4$ и $v_6 = 0,027$ м/с при $\delta_{исх} = 2,8$ % обеспечивало $Q = 11,75$ т/ч. Работа на корнеклубнеплодах с загрязненностью 3,5 %, 6,0 % и 9,9 % приводила к снижению Q до 10,6 т/ч. Увеличивая v_6 до 0,3 м/с, получили выпуклую зависимость снижения производительности от роста исходной загрязненности с 2,8 % до 9,9 % соответственно с 13,12 до 12,00 т/ч.

При данном коэффициенте заполнения барабана, отдельные корнеклубнеплоды увлекаются под действием центробежных сил выше уровня воды и падают на корнеклубнеплоды плавающие на поверхности воды, получая при этом повреждения. Повреждения корнеплодов, хорошо видно (рисунок 4.17 *г*) на красной свёкле, имеющей более нежную кожуру $\Delta_m = 0,9$ %, при повреждаемости кожуры до 7 %. Сахарная свекла имела потери массы на 30 % меньше и повреждение кожуры на 50 % по сравнению со свеклой красной. Загрязнённая вода, после мойки красной свёклы, имела красный цвет, что указывает на большие потери исходной массы.

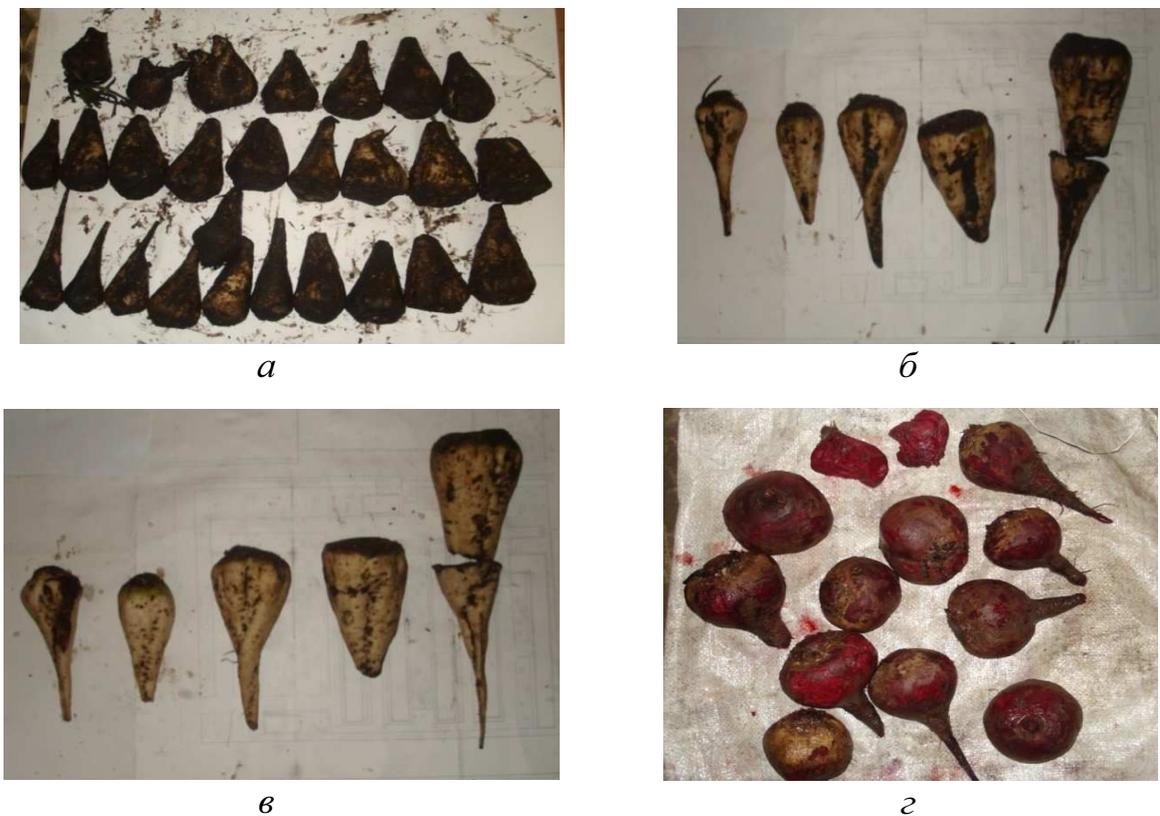


Рисунок 4.17 – Уровень загрязненности корнеклубнеплодов
а – до мойки $\delta_{исх} = 6,2$ %; *б* – после машинной мойки $\delta_{ост} = 1,7$ %; *в* – после ручной мойки $\delta_{ост} \approx 0,01$ %; *г* – повреждённые корнеклубнеплоды из вороха $\approx 0,5$ %

Корнеклубнемойка при обработке разных видов корнеклубнеплодов (рисунок 4.18), работая на разных режимах, потребляла разное количество электроэнергии, сохраняя аналогичный характер кривых.

Анализируя графики расхода электроэнергии на привод гидротурбинной корнеклубнемойки, видим, что наиболее энергоемкой культурой является сахарная свёкла. На ее мойку в воде с температурой $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ с производительностью 5 т/ч и загрязненностью 10% требуется (зависимость 3) мощность $0,8\text{ кВт}$, при $Q = 10, 15, 17\text{ т/ч}$, соответственно расходуется $1,5, 1.92, 1.98\text{ кВт}$.

Менее энергоемкой культурой для мойки является картофель, требующий мощности $0,71\text{ кВт}$ на производительности 5 т/ч .

Увеличение производительности в 2 раза привело к росту потребляемой мощности до $1,35\text{ кВт}$, а при $Q=15\text{ т/ч}$ мощность $N_{\text{п}}$ возросла до $1,76\text{ кВт}$ и соответственно при $Q = 17\text{ т/ч}$ $N_{\text{п}}$ достигла $1,81\text{ кВт}$.

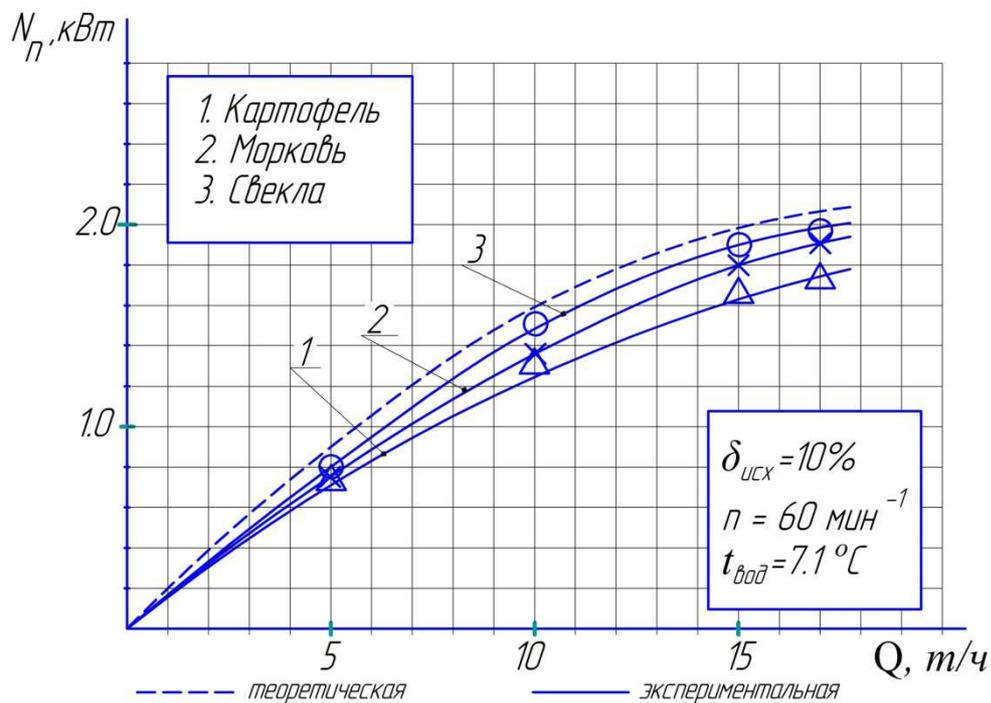


Рисунок 4.18 – Графики зависимости потребляемой мощности $N_{\text{п}}$ от производительности Q мойки при обработке корнеклубнеплодов

На мойке кормовой моркови при тех же режимах, как и на обработке свёклы и картофеля, затраты энергии были промежуточные и сохраняли

характер кривизны в пределах от 0.73, 1.4, 1.8 и 1.93 кВт. Расход воды составлял от 170 до 220 л/т обработанных корнеклубнеплодов

Несмотря на положительные свойства известных типов корнеклубнемоек, использующих воду, они имеют существенные недостатки – **малую производительность**, в результате чего готовые продукты переохлаждаются, а трубы и вентили замерзают при низкой температуре, поэтому требуют теплых помещений, что сдерживает их применение особенно в малых фермерских и крестьянских хозяйствах. Разработанная гидротурбинная корнеклубнемойка показала возможность работы при температуре ниже 0 °С на открытых выгульных площадках (рисунок 4.8) или под навесом (рисунок 4.19).

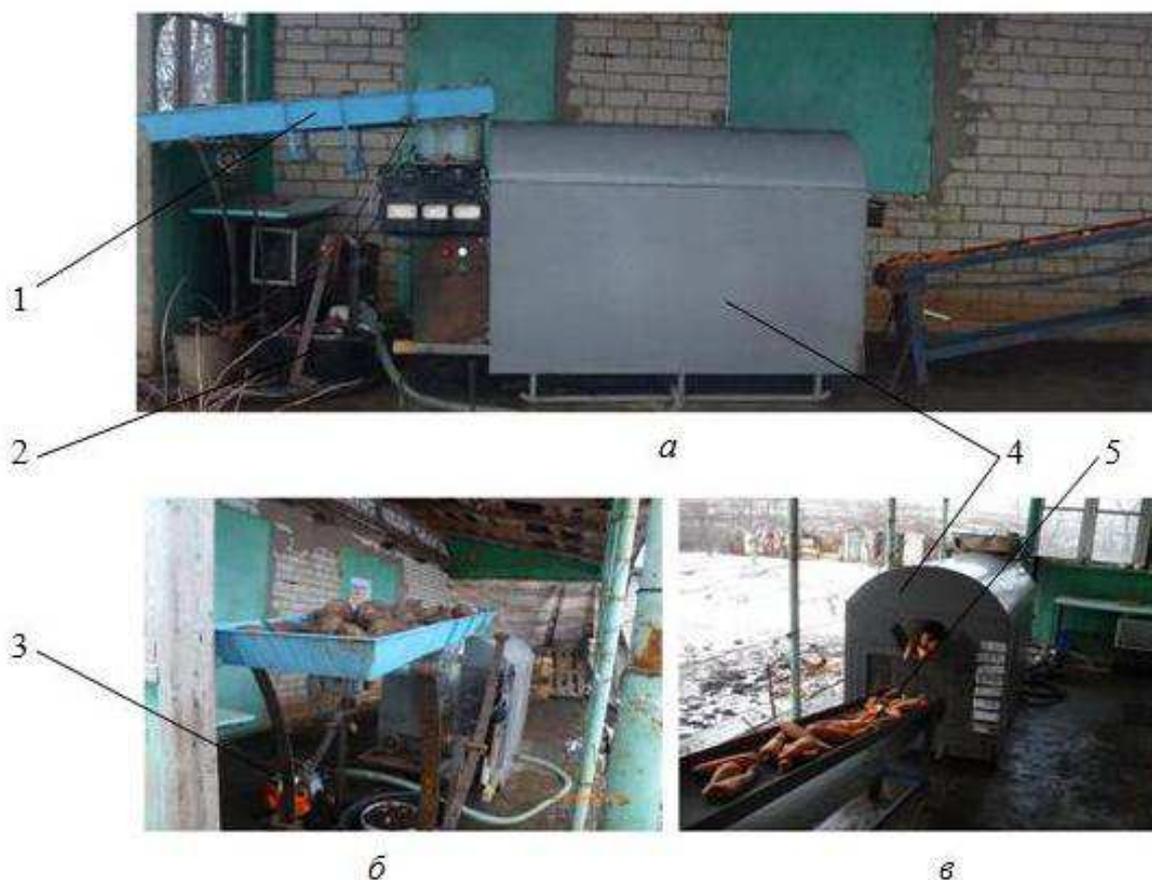


Рисунок 4.19 – Гидротурбинная корнеклубнемойка в ООО «Орловское»
а – главный вид; *б* – вид со стороны загрузки корнеклубнеплодов; *в* – вид со стороны выгрузки продукта. 1 – транспортер-виброочиститель; 2 – емкость для сбора инородных примесей; 3 – мотопомпа; 4 – гидротурбинная корнеклубнемойка; 5 – выгрузной транспортер

Проведенные исследования экспериментальной гидротурбинной установки в ООО «Орловское» (рисунок 4.19) подтверждают ее преимущество (Приложение У) перед известными типами корнеклубнемоек.

Гидротурбинная корнеклубнемойка установлена рядом с молочным отделением и доильным залом включает: вибротранспортер 1, обеспечивающий отделение механических примесей в емкость 2 для их сбора, мотопомпу 3 для перекачивания теплой воды от пастеризационно-охладительной установки молока в корнеклубнемойку 4. Корнеклубнеплоды, вымытые теплой водой, выгрузным транспортером 5 передаются прямо в кормушку коровника или на выгульную площадку, или в доильный зал.

Работа установки. Корнеклубнеплоды при прохождении через вибротранспортер 1 отделяют до 30 % загрязнителей в установленную под ним емкость 2. Одновременно с корнеклубнеплодами подается мотопомпой 3 теплая вода с температурой 20 – 30 °С в гидротурбинную корнеклубнемойку. После мойки очищенные и нагретые корнеклубнеплоды подаются выгрузным транспортером 5 в кормушку доильной установки. Благодаря применению теплой воды для технологического цикла подогрева и мойки корнеклубнеплодов в холодное время года увеличивается пропускная способность корнеклубнемойки и исключаются простудные заболевания коров.

Выводы

1. Наиболее совершенной моечной машиной является разработанная гидротурбинная корнеклубнемойка, так как внутреннее технологическое время загрузки $t_з$, выгрузки $t_в$ и обработки $t_п$ совмещено и стремится к оптимальным.

2. Даны графоаналитические выражения отображающие согласованность производительности поточных технологических линий обеспечивающих перемещение корнеклубнеплодов в процессе их обработки при заданной производительности Q и нормативном качестве конечного

продукта не превышающем остаточную загрязненность $\delta_{\text{ост}} < 2,5 \%$ и при потерях массы до $\Delta_m = 0,9\%$ и повреждаемости кожуры до 7% , что ниже нормативных.

3. Разработанные аналитические выражения отражающие производительность корнеклубнемойки $Q = V\varphi v_{\text{ср}}\rho$ при постоянных V , φ , ρ , согласуются в допустимых пределах с практическими результатами, которые корректируются в технологическом процессе за счет увеличения скорости перемещения потока $v_{\text{ср}}$ во столько раз, во сколько будет увеличена интенсивность обработки корнеклубнеплодов по сравнению с базовой (щеточно-барабанной) по производительности в 2–5 раз и меньшем расходе воды на 300 л/т.

4. Результаты практически полученной $Q_{\text{фак}}$ показывают, что с уменьшением φ и $\delta_{\text{исх}}$, задающих $t_{\text{п}}$ (нахождение корнеклубнеплодов в барабане), изображены на графиках 4,10; 4,12; 4,14; 4,16; 4,18 отображают зависимость производительности в виде $Q_{\text{фак}} = \frac{Q_{\text{тео}}}{t_{\text{п}}}$.

5. Результаты сравнительных исследований показали, что оптимальным режимом работы гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки на обработке свёклы, как наиболее трудоемкой культурой является φ в пределах $0,30 - 0,35 \%$ при $v_{\text{к}} = 0,08 - 0,12$ м/с, гарантирующей качество мойки в пределах менее $1,7 - 2,0 \%$ при частоте вращения барабана $55 - 60$ мин⁻¹ и мощности привода до 2 кВт.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ГИДРОТУРБИННОЙ БАРАБАННОЙ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ

Основные тенденции современного сельскохозяйственного машиностроения складываются из запросов агропромышленного комплекса [85, 86 87, 88, 89], включающих: повышение мощности, производительности и быстроходности машин и оборудования животноводческих ферм, равномерность технологического хода, автоматизацию технологического процесса, длительность безотказной работы, удобство и безопасность обслуживания, экономичность в процессе эксплуатации, минимальную массу и возможность наименьшей стоимости конструирования и изготовления. Все это рассматривается относительно выбранного базового варианта (таблица 5.1), за который приняли щеточно-барабанную корнеклубнемойку ИП «Кагуй». Она предназначена для мойки корнеклубнеплодов и овощей [81, 90], имеющая производительность $Q = 2,0 - 3,0$ т/ч, расход воды $1,5$ м³/ч, установленную мощность привода $2,2$ кВт, массу 320 кг, цену $320\ 000$ руб. Этот тип моечных машин, является для Российских сельхоз производителей не очень привлекательным из-за относительно небольшой производительности и высокой стоимости.

Экономическая эффективность гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки рассмотрена с точки зрения совершенствования технологического процесса мойки продукта в поточных линиях кормоцехов и заготовки комбисилоса [33, 68, 86, 91, 92]. Она складывается за счет сохранения исходной массы корнеклубнеплодов в процессе их подготовки к скармливанию и повышения продуктивности животных при употреблении физиологически совместимого корма [93], а также существенного снижения эксплуатационных расходов и тепла [94]. Введение в ПТЛ подготовки корнеклубнеплодов гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки позволит: сэкономить производственные объемы кормоцехов и кормокухонь

на 1,1-1,44 м³/т, снизить эксплуатационные затраты в 2 раза обработанных корнеклубнеплодов, сократить на 1 тонну удельный расход воды на 25–35 %, повысить качество вымытых корнеклубнеплодов на 0,5–1,0%, что уменьшит заболеваемость новотельных коров [93] более чем на 60–70%. Исходя из рекомендаций [87, 88, 89, 91], эффект от внедрения гидротурбинной корнеклубнемойки определяется как разница между стоимостью сэкономленных кормов и затрат на теплоносители, инженерно-технические сооружения и их эксплуатацию.

Эксплуатационные затраты $Z_{\text{зат}}$ на обработку одной тонны корнеклубнеплодов экспериментальной гидротурбинной корнеклубнемойкой определяли по формуле

$$Z_{\text{зат}} = Z_{\text{сп}} + Z_{\text{го}} + A_0 + Z_{\text{то}} + Z_{\text{э}} + Z_{\text{в}} + Z_{\text{п}} + Z_{\text{от}} + Z_{\text{стр}} + N_p, \quad (5.1)$$

где $Z_{\text{сп}}$ – затраты на строительство цеха мойки корнеклубнеплодов, руб.;

$Z_{\text{го}}$ – затраты на сооружение грязеотстойников, руб.;

A_0 – амортизационные отчисления, руб.;

$Z_{\text{то}}$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб.;

$Z_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию, руб.;

$Z_{\text{в}}$ – затраты на воду, руб.;

$Z_{\text{п}}$ – затраты на оплату труда, руб.;

$Z_{\text{от}}$ – отчисления на социальные нужды, руб.;

$Z_{\text{стр}}$ – страховые платежи, руб.;

N_p – общепроизводственные и общехозяйственные расходы, руб.

В свою очередь, $Z_{\text{сп}}$ определяется по формуле

$$Z_{\text{сп}} = \frac{K_i \cdot a_i \cdot b_i \cdot h_i \cdot n_{\text{КРС}} \cdot \Pi_{i,k}}{Q_{\text{год КРС}}}, \quad (5.2)$$

где K_i – коэффициент, учитывающий ширину прохода между оборудованием.

Принимаем проход между оборудованием при наличие в разрыве одного ряда рабочих мест и периодического движения людей равным 1, 2 [92 95];

a_i – длина i корнеклубнемойки, м;

b_i – ширина i корнеклубнемойки, м;

h_i – высота i корнеклубнемойки, м;

$\Pi_{i.к}$ – цена 1 м³ кормоцеха для обработки корнеклубнеплодов, руб.;

$Q_{\text{год КРС}}$ – годовая потребность в корнеклубнеплодах на фермах КРС, т.

Затраты на сооружение грязеотстойников $Z_{\text{го}}$ определяли по формуле

$$Z_{\text{го}} = a_{г.i} b_{г.i} h_{г.i} \Pi_{г.i}, \quad (5.3)$$

где $a_{г.i}$ – длина грязеотстойника, м;

$b_{г.i}$ – ширина грязеотстойника, м;

$h_{г.i}$ – глубина грязеотстойника, м;

$\Pi_{г.i}$ – цена одного м³ грязеотстойника на 1 т корнеклубнеплодов, руб.

После заводских испытаний (Приложение Н) экспериментальной корнеклубнемойки комиссия сочла ее принятой и рекомендовала для испытаний у Заказчика (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Опытный образец гидротурбинной корнеклубнемойки

Балансовая стоимость корнеклубнемойки B_1 определяется по формуле

$$B_1 = \Pi_i K_1 K_2 K_3, \quad (5.4)$$

где Π_i – цена i корнеклубнемойки, руб.;

K_1 – коэффициент учитывающий снабженческо-сбытовую наценку;

K_2 – коэффициент учитывающий затраты на строительно-монтажные и пусконаладочные работы;

K_3 – коэффициент учитывающий затраты предприятия на доставку корнеклубнемошки.

Среднее значение K_1, K_2, K_3 по хозяйствам области составляет 1,25. Тогда

$$B_1 = 41 \cdot 1,25 = 51,4 \text{ тыс. руб.}$$

Цена корнеклубнемошки C_i (Приложение О) составляет 41,1 тыс. руб. которая складывается из затрат завода-изготовителя при серийном производстве и определяется, исходя из стоимости экспериментальной установки с учетом снижения стоимости при серийном производстве

$$C_i = C_{\text{кмэ}} K_{\text{сп}}, \quad (5.5)$$

где $C_{\text{кмэ}}$ – стоимость экспериментальной установки, руб.;

$K_{\text{сп}}$ – коэффициент снижения стоимости при серийном производстве.

Потребность корнеклубнеплодов на 1 корову в год составит

$$Q_{\text{год}} = \sum (n_{\text{ж}} m_{\text{сут}} + \Delta_{\text{м}}) D, \quad (5.6)$$

где $n_{\text{ж}}$ – поголовье половозрастной группы животных, гол.;

$m_{\text{сут}}$ – среднесуточная потребность корнеклубнеплодов i -й группы животных, кг;

$\Delta_{\text{м}}$ - потери исходной массы корнеклубнеплодов, кг;

D - число дней в году кормления животных корнеклубнеплодами.

Потери исходной массы корнеклубнеплодов для базовой установки в среднем приняли $\Delta_{\text{а}} = 5,0 \%$, а для экспериментальной, по лабораторным исследованиям $\Delta_{\text{э}} = 1,0 \%$. Для дальнейших расчетов принимаем средние потери исходной массы корнеклубнеплодов $3,0 \%$.

Потери исходной массы обработанных на экспериментальной установке корнеклубнеплодов для Саратовской области составят 15 466 т/год, а на базовой 61 864 т/год и соответственно для «Агрофирма «Волга» - 165 т/год и 660 т/год. Для ООО «Орловское» потери составят 16,5 т/год и 66 т/год.

Прогноз поголовья животных и птиц по данным МСХ в Саратовской области [97, 98] во всех категориях хозяйств до 2020 г. показывает:

- общее поголовье КРС в 2015 г. составит 673,2 тыс./гол., в т.ч. молочного направления 623,4 тыс./гол из них коров молочного направления 216,3 тыс./гол., а в 2020 г. – 269,5 тыс. гол;

- рост поголовья КРС на 162,6 % (Приложение П);

- рост продуктивности коров на 133 % (Приложение Р).

Для расчетной потребности в чистых корнеклубнеплодах примем каждой дойной корове 20–30 кг/гол в сутки (5,5 т/год) и быку-производителю 30 кг/гол. в сутки (6,6 т/год). Тогда в среднем получим объем перерабатываемых корнеклубнеплодов 25–50 т/сут.

Тогда годовая потребность в чистых корнеклубнеплодах для молочных ферм в Саратовской области с учетом быков производителей составит

$$Q_{\text{год}} = 216\,300 \cdot 5,5 + 54\,075 \cdot 6,6 = \mathbf{1\,546\,545 \text{ т/год}}$$

В том числе «Агрофирме «Волга» - 16 500 т/год и ООО «Орловское» - 1 650 т/год

Следовательно корнеклубнеплодов с загрязненностью $\delta_{\text{исх}} = 6 - 10 \%$, идущих на обработку для ферм по Саратовской области составит 1 670 268,6 т/год, в т.ч. по «Агрофирме «Волга» - 17 820 т/год и по ООО «Орловское» - 1 782 т/год.

Для экономического расчета в потребности корнеклубнеплодов примем на 2015 г. число ферм молочного направления 140 шт. с размещением поголовья коров в среднем по 1000-2000 голов.

Необходимое количество машин для обработки корнеклубнеплодов определим по формуле

$$n_{\text{м}} = \frac{Q_{\text{год}}}{D \cdot t_{\text{маш}} \cdot Z_{\text{см}} \cdot Q_{\text{м}}}, \quad (5.7)$$

где D – число дней кормления животных корнеклубнеплодами. Принимаем для Саратовской области $D = 220$ дней;

$t_{\text{маш}}$ – машинное время, ч;

$Z_{\text{см}}$ – число смен. Принимаем 1 смену;

$Q_{\text{м}}$ – производительность мойки, т/ч. Принимаем (10 – 15) т/ч.

Для Саратовской области потребуется 140 корнеклубнемоек, в том числе для «Агрофирмы «Волга» и ООО «Орловское» по 1 экспериментальной гидротурбинной корнеклубнемойки.

Норма амортизационных отчислений на машину N_a определяется исходя из срока службы, принятого по договору между Министерством сельского хозяйства и организаторами фермерских хозяйств

$$N_a = \frac{100}{A}, \quad (5.8)$$

где A – срок службы корнеклубнемоечных машин. Принят 5 лет.

Затраты на техобслуживание и ремонт корнеклубнемойки

$$Z_{то} = \frac{B_1 \cdot N_{то}}{100 \cdot T_{год} \cdot Q_ч}, \quad (5.9)$$

где $N_{то}$ – нормативы затрат на техническое обслуживание и ремонт корнеклубнемойки, % от балансовой стоимости;

$T_{год}$ – годовая загрузка корнеклубнемойки (нормативная, расчетная), ч;

$Q_ч$ – производительность корнеклубнемойки, т/ч.

Затраты на электроэнергию $Z_э$ определяются по формуле

$$Z_э = \frac{P_i n_i t_m D Ц_э}{Q_ч}, \quad (5.10)$$

где P_i – установленная мощность i потребителя, кВт;

n_i – количество i потребителей, шт.;

t_m – время работы i электропотребителя в сутки, ч;

D – число рабочих дней в году, дни;

$Ц_э$ – стоимость кВт/ч электроэнергии, руб.

Оплату труда рабочих $Z_п$, занятых на обслуживании корнеклубнемойки

$$Z_п = \frac{C_{тар} K_{нач} K_{доп} Л T_{год}}{Q_ч}, \quad (5.11)$$

где $C_{тар}$ – тарифная ставка оплаты труда рабочего, руб./ч.; Принимаем 60 руб./ч;

$K_{нач}$ – коэффициент начисления на заработную плату;

$K_{\text{доп}}$ – размер дополнительной оплаты рабочего за классность (принимаем доплату за квалификацию 1 класса в пределах 25%, за 2 класса – 10%);

L – число обслуживающего персонала, чел.

Затраты на страхование корнеклубнемошки $Z_{\text{стр}}$, приходящиеся на 1 т корнеклубнеплодов, определяются по формуле

$$Z_{\text{стр}} = \frac{B_1 N_{\text{стр}}}{100 T_{\Gamma} Q_{\text{ч}}}, \quad (5.12)$$

где $N_{\text{стр}}$ – норма страхования за год в % от балансовой стоимости, %;

T_{Γ} – годовая загрузка корнеклубнемошки, ч;

$Q_{\text{ч}}$ – производительность корнеклубнемошки, т/ч.

Отчисления на социальные нужды $Z_{\text{от}}$, приходящиеся на 1 т корнеклубнеплодов

$$Z_{\text{от}} = \frac{Z_{\text{п}} K_{\text{сн}}}{Q_{\text{ч}}}, \quad (5.13)$$

где $K_{\text{сн}}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды.

$$K_{\text{сн}} = \frac{O_{\text{пф}} + O_{\text{фсс}} + O_{\text{фмс}} + O_{\text{фс}}}{100}, \quad (5.14)$$

где $O_{\text{пф}}$ – отчисления в пенсионный фонд, %;

$O_{\text{фсс}}$ – отчисления в фонд социального страхования, %;

$O_{\text{фмс}}$ – отчисления в фонд медицинского страхования, %;

$O_{\text{фс}}$ – отчисления в фонд занятости, %.

Исходные данные для расчета экономического эффекта от совершенствования технологического процесса мойки корнеклубнеплодов (Приложение С).

Минимальная сумма годовых P_3 приведенных затрат

$$P_3 = \mathcal{E} + E K, \quad (5.15)$$

где \mathcal{E} – годовые эксплуатационные расходы, руб.;

E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Принимаем для животноводства $E = 0,15$;

K – капиталовложения, руб.

Годовой экономический эффект P_3 по приведенным затратам

$$P_3 = P_{3,a} - P_{3,э}, \quad (5.16)$$

где $P_{3,a}$ – годовые приведенные затраты по аналоговой машине, руб.;

$P_{3,э}$ – годовые приведенные затраты по экспериментальной установке, руб.

Амортизационные отчисления

$$A_0 = \frac{B_1(a+P)}{100}, \quad (5.17)$$

где B_1 – балансовая стоимость экспериментальной корнеклубнемойки, руб.;

a – амортизационные отчисления, %. Принимаем 14 %;

P – отчисления на ремонт, %. Принимаем 2 %.

$$A_0 = \frac{51.4(14+2)}{100} = 8,2 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на электроэнергию $Z_э$, руб./год по Саратовской области составят $Z_э = 2,0 \cdot 140 \cdot 4,2 \cdot 220 \cdot 2,7 = 698\,544$ руб., в том числе по «Агрофирме «Волга» 8 910 руб. и ООО «Орловское» 891 руб.

Годовой фонд $T_{год}$ времени работы машины

$$T_{год} = \frac{G_{год}}{Q_m}. \quad (5.18)$$

По Саратовской области $T_{год} = \frac{1\,546\,545}{12,5} = 123\,723.6$ ч,

в том числе по «Агрофирме «Волга» 1 650 ч. и ООО «Орловское» 165 ч

$$Q_{см} = \frac{g_i \cdot m_i}{n_k \cdot t_{см}}, \quad (5.19)$$

где n_k – кратность кормления животных. Принимаем 2.

Фонд заработной платы $Z_{п}$ оператора по Саратовской области

$$Z_{п} = C_{тар} K_{нач} K_{доп} L T_{год}. \quad (5.20)$$

$Z_{п} = 60 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 123\,723.6 = 10\,207\,197$ руб. в том числе «Агрофирма «Волга» - 136 125 руб. и ООО «Орловское» - 13 613 руб.

Удельный экономический эффект $\mathcal{E}_{уд.год}$ в пересчете на обработанную тонну корнеклубнеплодов

$$\mathcal{E}_{уд.год} = \mathcal{E}_k + \mathcal{E}_{мас} + \mathcal{E}_{эл.эн} + \mathcal{E}_{эк.объ} + \mathcal{E}_z + \mathcal{E}_{цм} + \mathcal{E}_{вод} + \mathcal{E}_{гр}, \quad (5.21)$$

где \mathcal{E}_k – эффект от экономии кормов, руб.;

$\Delta_{\text{мас}}$ – эффект от разности масс оборудования, руб.;

$\Delta_{\text{эл.эн}}$ – эффект от экономии электроэнергии, руб.;

$\Delta_{\text{эк.об}}$ – эффект от экономии производственных объемов зданий, руб.;

$\Delta_{\text{з}}$ – эффект от заработной платы, руб.;

$\Delta_{\text{цм}}$ – эффект от разности реализации машин, руб.;

$\Delta_{\text{вод}}$ – эффект от снижения расхода воды на мойку корнеплодов, руб.;

$\Delta_{\text{гряз}}$ – эффект от снижения стоимости объемов грязесборников, руб.

Экономический эффект от сокращения потерь корнеклубнеплодов $\Delta_{\text{к}}$ на экспериментальной установке по сравнению с аналогом

$$\Delta_{\text{к}} = \frac{(\Delta_{\text{а}} - \Delta_{\text{э}}) G_{\text{год.к}} \cdot q_{\text{уд}} \cdot C_{\text{мол}}}{c_{\text{уд}}}, \quad (5.22)$$

где $\Delta_{\text{а}}$; $\Delta_{\text{э}}$ – процент потерь исходной массы обрабатываемых корнеплодов на аналоговой и экспериментальной корнеклубнемойке. Принимаем 0,1% и 0,4%;

$G_{\text{год.к}}$ – годовой объем обрабатываемых корнеклубнеплодов с исходной загрязненностью (6 – 10) %. Принимаем по Саратовской области **1 670 268,6** т/год, в том числе «Агрофирма «Волга» - 17 820 т/год и ООО «Орловское» - 1 782 т/год;

$q_{\text{уд}}$ – содержание кормовых единиц в 1 кг свёклы составляет 0,30 – 0,26 к.ед. [11]. Принимаем 0,28 к.ед./кг;

$C_{\text{мол}}$ – цена молока, руб./кг. Принимаем закупочную цену молока по Саратовской области за 2014 г. 27 руб./кг;

$c_{\text{уд}}$ – удельные расходы кормовых единиц на производство 1 кг молока. Принимаем 0,5 к.ед./кг молока.

$$\Delta_{\text{к}} = \frac{(0,04 - 0,01) 1\,546\,545 \cdot 0,28 \cdot 27}{0,5} = \mathbf{70\,1513} \text{ тыс. руб./год, в том числе}$$

«Агрофирма «Волга» - 7 484 руб/год и ООО «Орловское» - 748 руб/год

Экономический эффект от разности масс $\Delta_{\text{мас}}$ базового и экспериментального оборудования

$$\Delta_{\text{мас}} = [K_{\text{а}}(G_{\text{а}} \cdot n_{\text{а}}) - K_{\text{экс}}(G_{\text{э}} \cdot n_{\text{э}})] C_{\text{км}}, \quad (5.23)$$

где K_a – коэффициент сложности изготовления аналоговой корнеклубнемойки;

G_a – масса аналоговой корнеклубнемойки, кг. Принимаем 210 кг;

n_a – количество аналоговых корнеклубнемоек, шт. Принимаем 700 шт. с производительностью 1,5-2,0 т/ч;

$G_э$ – масса экспериментальной корнеклубнемойки, кг. Принимаем 150 кг;

$n_э$ – количество экспериментальных корнеклубнемоек, шт. Принимаем 140 шт. корнеклубнемоек для комплектации ферм КРС Саратовской области на 2015 г;

$C_{км}$ – цена единицы массы конструкционного материала аналоговой корнеклубнемойки, руб/кг. Принимаем 163 руб/кг (цена машины 34 230 руб);

$C_{кмэ}$ – цена единицы массы конструкционного материала экспериментальной корнеклубнемойки, руб/кг. Принимаем цену экспериментальной корнеклубнемойки с учетом сложности изготовления по сравнению с аналоговой на (коэффициент сложности $K_{экс}$). $K_{экс}=1,68$ руб./кг. После чего $C_i = 1.68 \cdot 163 \cdot 150 = 41,1$ тыс. руб.

$$\mathcal{E}_{мас} = [1(210 \cdot 700) - 1.68(150 \cdot 140)]163 = \mathbf{18\ 210.4 \text{ тыс. руб/год.}}$$

Экономический эффект от экономии электроэнергии $\mathcal{E}_{эл.эн}$, полученной в результате применения гидротурбинных корнеклубнемоек

$$\mathcal{E}_{эл.эн} = (\sum P_{i.a} n_{i.a} t_{i.a} - \sum P_{i.эл} n_{i.эл} t_{i.эл}) C_{эл}, \quad (5.24)$$

где $P_{i.a}$ – мощность i электропотребителей, установленных на аналоговой мойке, кВт;

$n_{i.a}$ – количество i электропотребителей на аналоговой мойке, шт.;

$P_{i.эл}$ – мощность i электропотребителей на экспериментальной мойке, кВт;

$n_{i.эл}$ – количество i электропотребителей на экспериментальной мойке, шт.;

$t_{i.a}$ и $t_{i.эл}$ – время работы электропотребителей аналоговой и экспериментальной установки в год, ч;

$C_{эл}$ – цена 1-го кВт·ч. Принимаем 2,41 руб/кВт·ч по тарифу плюс 12% за потери в линии (2,7 руб./кВт·ч)

$$\mathcal{E}_{эл.эн} = \left(\sum 0,75 \cdot \frac{1\,546\,545}{2} - \sum 2 \cdot \frac{1\,546\,545}{10} \right) 2,7 = \mathbf{730,7 \text{ тыс. руб/год.}}$$

Удельный расход $\mathcal{E}_{уд.а.э.}$ электроэнергии кВт·ч/т на аналоговой установке

$$\mathcal{E}_{уд.а.э.} = \frac{579\,954,4}{1\,546\,545} = 0.38 \text{ кВт·ч/т.}$$

Удельные затраты по электроэнергии $\mathcal{E}_{уд.а.р}$, руб./т на аналоговой установке

$$\mathcal{E}_{уд.а.р} = 0.38 \cdot 2.7 = 1.026 \text{ руб./т.}$$

Удельный расход электроэнергии $\mathcal{E}_{уд.э.э}$ кВт·ч/т на экспериментальной установке

$$\mathcal{E}_{уд.э.э} = \frac{309\,309}{1\,546\,545} = 0.2 \text{ кВт·ч/т.}$$

Удельные затраты электроэнергии $\mathcal{E}_{уд.э.р}$ руб./т на экспериментальной установке

$$\mathcal{E}_{уд.э.р} = 0,2 \cdot 2,7 = 0,54 \text{ руб./т.}$$

Экономический эффект по Саратовской области от затрат электроэнергии между аналоговой и экспериментальной корнеклубнемойкой

$\mathcal{E}_{эл.эн.к} = (0.38 - 0.2) \cdot 1\,546\,545 = \mathbf{278\,378.1 \text{ кВт·ч}}$, в том числе по «Агрофирме «Волга» - 2 970 кВт·ч, ООО «Орловское» - 297 кВт·ч.

Экономический эффект по затратам электроэнергии в рублях от применения экспериментальной установки

$$\mathcal{E}_{э.р} = (\mathcal{E}_{уд.а.р} - \mathcal{E}_{уд.э.р}) Q_{год}. \quad (5.25)$$

$$\mathcal{E}_{э.р} = (1,026 - 0,54) 1\,546\,545 = 751\,621 \text{ руб/год,}$$

в том числе по «Агрофирме «Волга» - 8 019 руб/год. и ООО «Орловское» - 802 руб/год.

Экономический эффект от экономии производственных объемов $\mathcal{E}_{эк.об}$ в результате применения экспериментальной мойки для ферм Саратовской области.

$$\mathcal{E}_{\text{эк.об}} = K_i (F_{i.a} h_{i.б} n_{i.a} - F_{i.э} h_{i.э} n_{i.э}) \mathcal{C}_{\text{к.ц}}, \quad (5.26)$$

где K_i – коэффициент, учитывающий интервалы (ширину прохода) между оборудованием. Принимаем проход между оборудованием при наличии в разрыве одного ряда рабочих мест и периодического движения людей равным 1,2 м;

$F_{i.a}$ и $F_{i.э}$ – площадь, занимаемая аналоговой и экспериментальной установкой, м²;

$h_{i.a}$ и $h_{i.э}$ – высота аналоговой и экспериментальной установки, м;

$n_{i.a}$ и $n_{i.э}$ – количество моечных установок аналоговых и экспериментальных, шт;

$\mathcal{C}_{\text{к.ц}}$ – цена единицы производственного объема кормоцефа, занимаемого мойкой, руб. Принимаем 15 тыс. руб./м³.

$$\mathcal{E}_{\text{эк.об}} = 1,2(2,56 \cdot 1,0 \cdot 700 - 1,71 \cdot 1,0 \cdot 140)15000 = \mathbf{27\ 947 \text{ тыс. руб.}}$$

в том числе по «Агрофирме «Волга» - 199,6 тыс. руб и ООО «Орловское» - 20 тыс. руб.

Экономический эффект по заработной плате $\mathcal{E}_з$ от применения экспериментальной мойки по фермам области

$$\mathcal{E}_з = G_{\text{т.ст}} K_{\text{нач}} K_{\text{кл}} (T_{\text{год.а}} - T_{\text{год.э}}), \quad (5.27)$$

где $G_{\text{т.ст}}$ – основная ставка рабочего. Принимаем 60 руб./ч;

$K_{\text{нач}}$ – коэффициент начисления на заработную плату. Принимаем 4,4% + 0,6%;

$K_{\text{кл}}$ – коэффициент начисления зарплаты за классность;

$T_{\text{год.а}}$ – годовой объем работ аналоговой корнеклубнемойки, ч;

$T_{\text{год.э}}$ – годовой объем работ экспериментальной корнеклубнемойки, ч;

$$T_{\text{год.а}} = L(t_{\text{сут.осн}} D_{\text{осн}} + t_{\text{сут.под}} D_{\text{под}}), \quad (5.28)$$

где L – число рабочих в смену. Для обслуживания 4-5 аналоговых корнеклубнемоек потребуется 1-2 рабочих в смену. Принимаем при интенсивном труде оператора для практических расчетов 1 рабочего;

$t_{\text{сут.осн}}$ – продолжительность рабочего дня основного и дополнительного рабочего. Принимаем 6 ч;

$D_{\text{осн}}$ – число рабочих дней основного рабочего в течение года. Принимаем 173 дня;

$t_{\text{сут.под}}$ – продолжительность рабочего дня подменного рабочего. Принимаем 6 ч;

$D_{\text{под}}$ – число рабочих дней подменного рабочего в течение года. Принимаем 37 дней.

$$T_{\text{год.а}} = 1(6 \cdot 173 + 6 \cdot 37) = 1\,254 \text{ ч/год},$$

$$T_{\text{год.э}} = L(t_{\text{сут.осн}} \cdot D_{\text{осн}} + t_{\text{сут.под}} \cdot D_{\text{под}}), \quad (5.29)$$

$$T_{\text{год.э}} = 1(1,5 \cdot 173 + 1,5 \cdot 37) = 315 \text{ ч/год}.$$

После соответствующих расчетов и преобразований получим экономию по зарплате от внедрения экспериментальной установки

$$\mathcal{E}_z = 60 \cdot 1,05 \cdot 1,25(1254 - 315) = \mathbf{73,9 \text{ тыс. руб./год.}}$$

Экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{цм}}$ от разности реализации аналоговых и экспериментальных моечных машин

$$\mathcal{E}_{\text{цм}} = C_a n_a - C_э n_э, \quad (5.30)$$

где C_a и $C_э$ – цена аналоговой и экспериментальной машины, руб;

n_a и $n_э$ – количество аналоговых и экспериментальных машин, шт.

$$\mathcal{E}_{\text{цм}} = 34\,200 \cdot 700 - 51\,400 \cdot 140 = \mathbf{18\,186 \text{ тыс. руб./год}},$$

в том числе «Агрофирма «Волга» - 13 тыс. руб/год и ООО «Орловское» - 1,3 тыс. руб/год.

Экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{вод}}$ от снижения объемов расхода воды на мойку корнеклубнеплодов

$$\mathcal{E}_{\text{вод}} = G_{\text{год}}(V_{\text{вод.а}} - V_{\text{вод.э}})C_{\text{вод}}, \quad (5.31)$$

где $V_{\text{вод.а}}$ и $V_{\text{вод.э}}$ – удельный объем расхода воды на тонну аналоговой и экспериментальной корнеклубнемойки, м³/т;

$C_{\text{вод}}$ - цена 1 м³ воды, руб.

$$\mathcal{E}_{\text{вод}} = 1\,546\,545(0,3 - 0,2)28 = 4\,330,3 \text{ тыс. руб./год.}$$

Экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{гр}}$ от снижения объемов грязесборников

$$\mathcal{E}_{\text{гр}} = K_{\text{пот}}(V_{\text{г.с.а}} - V_{\text{г.с.э}})C_{\text{гз}}, \quad (5.32)$$

где $K_{\text{пот}}$ – коэффициент потери массы воды при хранении. Принимаем 5 %;

$V_{\text{г.с.а}}$ – объем расходуемой воды аналоговой мойкой, м^3 ;

$V_{\text{г.с.э}}$ – объем расходуемой воды экспериментальной мойкой, м^3 ;

$C_{\text{гз}}$ – цена м^3 грязесборника, руб.

$$V_{\text{г.с.а}} = 1\,546\,545 \cdot 0,3 = 463\,964 \text{ м}^3,$$

$$V_{\text{г.с.э}} = 1\,546\,545 \cdot 0,2 = 309\,309 \text{ м}^3,$$

$$\mathcal{E}_{\text{гр}} = 0,05(463\,964 - 309\,309)C_{\text{гз}}.$$

Цена грязесборника складывается из оплаты объема вынутаго экскаватором грунта ($150\text{-}300 \text{ м}^3$), перемещения единицы объема грунта ($100\text{-}200 \text{ руб./м}^3$), разравнивание грунта (40 руб./м^3), стоимости красного кирпича ($250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$) по $8,0\text{-}10,0 \text{ руб./шт.}$, кладки стены кирпича (1600 руб./м^3).

Затраты $Z_{\text{г.с.а}}$ на выемку грунта под грязесборник для аналоговых моек

$$Z_{\text{г.с.а}} = V_{\text{г.с.а}} \cdot C_{\text{г.с.а}}, \quad (5.33)$$

где $C_{\text{г.с.а}}$ - стоимость выемки грунта, руб/м^3 .

$$Z_{\text{г.с.а}} = 463\,964 \cdot 300 = 139\,189,2 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты $Z_{\text{г.с.э}}$ на выемку грунта под грязесборник для экспериментальных моек

$$Z_{\text{г.с.э}} = V_{\text{г.с.э}} \cdot C_{\text{г.с.э}}, \quad (5.34)$$

где $C_{\text{г.с.э}}$ - стоимость выемки грунта, руб/м^3 .

$$Z_{\text{г.с.э}} = 309\,309 \cdot 300 = 92\,792,7 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость перемещения грунта для аналогового грязесборника

$$Z_{\text{г.с.а.п}} = V_{\text{п.а}} \cdot C_{\text{г.с.а.п}}, \quad (5.35)$$

где $V_{\text{п.а}}$ - объем перемещаемого грунта под аналоговый грязесборник, м^3 ;

$C_{\text{г.с.а.п}}$ – стоимость перемещаемого грунта под аналоговый грязесборник, руб/м^3 .

$$Z_{\text{г.с.а.п}} = 463\,964 \cdot 200 = 92\,792,8 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость перемещаемого грунта для экспериментального грязесборника

$$Z_{г.с.э.п.} = V_{п.э.} \cdot C_{г.с.э.п.} \quad (5.36)$$

$$Z_{г.с.э.п.} = 309\,309 \cdot 200 = 61\,861,8 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость разравнивания грунта $Z_{р.г.а.}$ для аналогового грязесборника

$$Z_{р.г.а.} = \frac{463\,964 \cdot 40}{3} = 6\,186,2 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость разравнивания грунта $Z_{р.г.э.}$ для экспериментального грязесборника

$$Z_{р.г.э.} = \frac{309\,309 \cdot 40}{3} = 4\,124,1 \text{ тыс.руб.}$$

Облицовка грязесборника выполнялась стенкой из кирпича толщиной 250 мм, глубиной 3 м с последующим перекрытием.

Подставляя соответствующие значения стоимости материалов и объемов строительно-монтажных работ на выполнение грязесборников для аналоговых и экспериментальных моек, получим разницу затрат

$$\mathcal{E}_{грязь} = 238\,168,2 - 158\,778,6 = \mathbf{79\,389,6 \text{ тыс. руб.}}$$

Общий экономический эффект для хозяйств Саратовской области от применения экспериментальной корнеклубнемойки составит

$$\mathcal{E}_{уд.год} = \mathbf{701,5 + 18\,210,4 + 730,74 + 27\,947 + 73,9 + 18\,186 + 4\,330,3 + 79\,389,6 = 149\,569,4 \text{ тыс. руб./год.}}$$

Удельный экономический эффект в пересчете на 1 тонну вымытых корнеклубнеплодов составит

$$\mathcal{E}_{уд.т} = \mathcal{E}_{уд.год} / G_{год.к.} \quad (5.37)$$

$$\mathcal{E}_{уд.т} = \frac{149\,569\,400}{1\,546\,546} = 96,7 \text{ руб/т.}$$

Окупаемость барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки составит

$$\Gamma_{э} = \frac{B_1}{\mathcal{E}_{уд.год}} \quad (5.38)$$

$$\Gamma_{э} = \frac{51\,400 \cdot 140}{149\,569\,400} = 0,1 \text{ года.}$$

Фактическое время использования гидротурбинной корнеклубнемойки осуществляется с учетом потребности в объеме перерабатываемых корнеклубнеплодов с определенным видовым составом корнеклубнеплодов конкретно для каждой половозрастной группы хозяйства и наличия кормов (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Состав корнеклубнеплодов в рационе дойной группы коров с продуктивностью 5500 кг

После переработки одного состава корнеклубнеплодов составляется второй с соответствующим объемом, который может быть в пределах 200-2500 кг для ЗАО «Агрофирма «Волга» и от 50 до 300 кг для разных половозрастных групп фермерского хозяйства ООО «Орловское» Марксовского района Саратовской области. Для фермы ЗАО «Агрофирма «Волга» с поголовьем КРС 3000 и средним потреблением 16 500 т корнеклубнеплодов в год, корнеклубнемойка позволит получить экономию 427350 руб. и окупиться за 0,1 года, для ООО «Орловское» с потреблением 1600 т/год корнеклубнеплодов получится экономический эффект 427350 руб/год и корнеклубнемойка окупится за 10 месяцев.

Приведенные экономические составляющие о целесообразности использования гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки (таблица 5.1) подтверждаются: актом о внедрении в ЗАО «Агрофирма «Волга» (Приложение Т), актом ООО «Орловское» (Приложение У).

В таблице 5.1 дана сравнительная оценка результатов исследования экспериментальной корнеклубнемойки с базовой изготавливаемой в ИП фирмы «Кагуй» Ростова-на-Дону.

Таблица 5.1 – Техничко-экономическая оценка результатов исследования

Наименование показателей	Единицы измерения	Величины затрат		Примечания
		Экспериментальная	Щеточно-барabanная корнеклубне-мойка ИП «Кагуй»	
Производительность	т/ч	5,0–15,0	2,0–3,0	
Эксплуатационные затраты на единицу продукции, в т.ч.:– амортизационные, – заработная плата	руб./т,	8,7	14,7	-6,09
	руб./т	0,397		-1,65
	руб./т	2,7	5,4	-2,7
Затраты труда на единицу продукции	чел·ч/т	0,1	0,33	-0,23
Экономия от условно полученной животноводческой продукции, например, молока с 1 тонны корнеплодов.	руб/т	25,29		
Удельный расход ресурсов: – электроэнергии, – воды	кВт·ч/т	0,4	0,73	0,33
	л/т	200	500	-300
Срок окупаемости	лет	0,1		

Выводы

1. Эксплуатационные затраты на единицу продукции у экспериментальной корнеклубнемойки снижается в сравнении с базовой щеточно-барabanной ИП фирмы «Кагуй» Ростова-на-Дону на 6,09 руб/т;

2. Затраты труда на единицу получаемой продукции у экспериментальной корнеклубнемойки в сравнении с щеточно-барabanной снижаются на 0,23 чел·ч/т;

3. За счет экономии эксплуатационных затрат (5.38) экспериментальная корнеклубнемойка окупится за 0,1 года;

4. Расход воды на единицу обрабатываемых корнеклубнеплодов у экспериментальной мойки ниже базовой в 2,5 раза

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ способов и средств разработанной классификации корнеклубнемоечных машин позволил выявить перспективное направление создания барабанной корнеклубнемойки и после изучения физико-механических свойств корнеклубнеплодов в воде с помощью разработанных приборов теоретически обосновать конструктивно-режимные параметры опытного образца, которые подтверждены теоретическими и экспериментальными результатами и технико-экономической эффективностью, полученной на животноводческих фермах.

2. Из анализа литературных источников и разработанной классификации следует, что перспективным направлением создания конструктивно-технологической схемы для очистки корнеклубнеплодов от загрязнителей является барабанная гидротурбинная корнеклубнемойка. Техническая новизна устройства подтверждена патентами на полезную модель RU 70086 U1, RU 87151 U1. Проведенные исследования физико-механических свойств корнеклубнеплодов на разработанных приборах, подтвержденных патентами RU 114 146 U1, RU 117 609 U1, позволили определить истинную и кажущую плотность свёклы сахарной 1110 и 714 кг/м³, кормовой свёклы 1123 и 656 кг/м³, соответственно моркови 1072 и 840 кг/м³. Центр тяжести корнеклубнеплодов находится на 1/3 длины от их головки, угол трения качения по сухому стеклотекстолиту вдоль оси корнеклубнеплода равен 26°, а в воде – 30°, угол скольжения по стеклу небьющемуся 26°, стальному листу 25°, пластмассе 26°.

3. Теоретические исследования рабочего процесса барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки позволили разработать функциональную модель, определяющую входные, возмущающие и выходные факторы, влияющие на эффективность рабочего процесса гидротурбинной корнеклубнемойки. Получены аналитические зависимости для определения производительности, длины барабана, количество ковшей их шага, частоты вращения барабана и математическую модель скорости перемещения

корнеклубнеплодов вдоль продольной оси вращения барабана и уравнение потребляемой мощности привода на мойку корнеплодов гидротурбинной корнеклубнемойки.

4. Результаты экспериментальных исследований показали, что остаточная загрязненность корнеклубнеплодов при диаметре барабана 0,6 м, частоте его вращения 60 мин^{-1} , количестве ковшей 12, 24, 48 шт. с размерами 64x115 мм. и шагом соответственно 260, 130 и 65 мм, производительностью 5, 10 и 15 т/ч не превышала 1,7–2,7 %, а расход воды варьировал в пределах 0,1–0,25 л/кг обрабатываемого продукта. Энергоемкость процесса очистки корнеклубнеплодов составляла 0,133–0,4 кВт·ч/т. Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показал их сходимость в пределах 95–97 %.

5. Результаты производственных испытаний гидротурбинной корнеклубнемойки, проведенных в ЗАО «Агрофирма «Волга» и ООО «Орловское», при обработке сахарной свёклы с исходной загрязненностью 9,9 % с влажностью загрязнителя 15–27 % и производительностью 5, 10 и 15 т/ч, показали, что остаточная загрязненность корнеклубнеплодов находится в пределах 1,5–1,9 %, что вполне удовлетворяет зоотехническим требованиям их мойки 2–3%. Экономическая эффективность в результате внедрения гидротурбинной корнеклубнемойки по сравнению с базовой – барабанно-щеточной позволяет получить снижение затрат труда на 0,23 чел·ч/т, экономию затрат энергии на 0,53 кВт·ч/т. Экономия от условно полученной животноводческой продукции, например, молока с 1 т. корнеклубнеплодов составит 25,29 руб/т. перерабатываемых корнеклубнеплодов. Срок окупаемости экспериментальной корнеклубнемойки составляет 0,1 года.

Рекомендации. Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями при определении параметров корнеклубнемоёк на стадии проектирования, в учебном процессе – студентами, аспирантами и научными сотрудниками.

Перспектива дальнейшей разработки темы: совершенствование

технологий и средств механизации мойки корнеклубнеплодов путем энергонасыщения конечного продукта за счет рекуперации тепла отработанного теплоносителя на фермах и комплексах АПК позволит повысить сохранность животных и их продуктивность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства Российской Федерации № 717 от 14 июня 2012 г. «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы», М., 2012.
2. Винников И.К. Технологии, системы и установки для комплексной механизации и автоматизации доения коров / И.К. Винников, О.Б. Забродина, Л.П. Кормановский; под ред. Л.П. Кормановского. – зерноград, 2001. – 354 с.
3. Юхин Г.П. Совершенствование технологии и технических средств заготовки и подготовки к скармливанию кормовых корнеплодов. Автореферат на соискание учёной степени д.т.н. /Оренбург, 2006, - 34 с.
4. Завражнов А.И., Огородников П.И. Биотехнические системы в агропромышленном комплексе. Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 5. С.53 – 54.
5. Концепция развития механизации и автоматизации процессов в животноводстве на период до 2015 года. м– М.: ВГНУ, 2008. – 100 с.
6. Хохрин С.Н. Корма и кормление животных. – СПб.: «Лань», 2002. – 512 с.
7. Профинплан ЗАО Агрофирма «Волга» Марковского района Саратовской области. 2013 г.
8. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба, Н.В. Брагинец, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич и др. – М.: Колос, 2000. – 528 с.
9. Юхин Г.П., Мартынов В.М., Катков А.А., Калимуллин А.М.. В сборнике: Актуальные проблемы и пути развития животноводства./ Материалы Всесоюзной научно-практической конференции в честь 75 летия основания кафедры физиологии и биохимии животных, памяти профессора П.Я. Гущина. Уфа. 2009. С.259 - 260

10. Мурусидзе Д.Н. Технология производства продукции животноводства / Д.Н. Мурусидзе, В.Н. Легеза, Р.Ф. Филонов. – М.: КолосС, 2005. – 432 с. (Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений).
11. Технологические основы производства и переработки продукции животноводства / сост.: М.В. Забелина, Р.А. Денисов, А.В. Продивлянов и др.; ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2006. – 1126 с.
12. Нормативы потребности АПК в технике для растениеводства и животноводства. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2003. – 84 с.
13. Хазанов Е.Е. Технология и механизация молочного животноводства / Е.Е. Хазанов, В.В. Гордеев, В.Е.Хазанов. – СПб.: Лань, 2010. – 352 с.
14. Берестов В.А. Звероводство: учеб. пособие / В.А. Берестов. – СПб.: Лань, 2002. – 480 с.
15. Золотая книга фермера / авт.-сост. С.А. Хворостухина. – М.: Вече, 2002. – 512 с.
16. Как стать фермером / Г.М. Антипов, Ф.Б. Гаджи-Исмаилов, В.И. Кузьмин и др. – М.: МП ИМИДЖ, 1992. – 845 с.
17. Тенденция развития доильного оборудования за рубежом / (Ан. обзор) Ю.А. Цой, И.П. Мишуров и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – 76 с.
18. Морозов Н.М. Технологическое и техническое обеспечение производства продукции животноводства / Н.М. Морозов // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – №6. – С. 3-6.
19. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства / А.П. Тарасенко, В.Н. Солнцев, В.П. Гребнев и др. – М.: КолосС, 2002. – 552 с.
20. Сафронов В.В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования: монография / В.В. Сафронов. – Саратов: Научная книга, 2009. – 329 с.
21. Карташов Л.П. Механизация, электрификация и автоматизация животноводства / Л.П. Карташов, А.И. Чугунов, А.А. Аверкиев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1997. – 368 с.

22. Завражнов А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
23. Мухин В.А. Методика исследования повышения эффективности очистки корнеплодов с помощью водяных струй и воздушно-эмульсионных смесей / В.А. Мухин, А.А. Овчинников // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения профессора А.Г. Рыбалко / под ред. Е.Е. Демина. – Саратов: КУБиК, 2011. – С. 91-94.
24. Юхин Г.П., Чураев Д.С. Измельчение корнеплодов при отрицательной температуре/ Г.П. Юхин, Д.С. Чураев// Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. Т. 33. №1-1. С. 75-77
25. Соминич Н.Г. Механизация животноводческих ферм / Н.Г. Соминич. – Л.: Сельхозгиз, 1957. – 544 с.
26. Сыроватка В.И. Методика расчета рабочих органов и выбора основных параметров барабанно-щеточных очистителей корнеплодов / В.И. Сыроватка, А.В. Дервиш // Сб. науч. тр. ВИЭСХ. – М., 1973. – Т. 34. – С. 130-162.
27. А. с. №660657 СССР Кл². А23 N13/00 Устройство для мойки корнеклубнеплодов / А.А. Овчинников, Б.В. Кононов, В.А. Силагин и И.Ф. Обухов. – 1979. – Бюл. №17.
28. Проектирование и расчет подъемно-транспортующих машин сельскохозяйственного назначения / М.Н. Ерохин, А.В. Карп, Н.А. Вискребенцев и др.; под ред. М.Н. Ерохина и А.В. Карпа. – М.: Колос, 1999. – 228 с.
29. Позднеков С.Е. Исследование средств механизации мойки корнеплодов кукурузы: автореф. дис. канд. техн. наук / С.Е. Позднеков. – Саратов, 1973. – 22 с.
30. Мухин В.А. Механизация приготовления кормов: учеб. пособие / В.А. Мухин. – Саратов: Саратов. гос. с-х. акад., 1994. – С. 94-110.
31. Механизация и технология животноводства / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич и др. – М.: КолосС, 2007. – 584 с.
32. <http://rosmamash.ru>

33. <http://izhagro.ru>

34. Коновалов В.В. Расчет оборудования и технологических линий приготовления кормов (примеры расчетов на ЭВМ): учеб. пособие / В.В. Коновалов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2002. – 206 с.

35. Чиграков А.В. Экспериментальное исследование поведения жидкости в частично заполненном горизонтальном вращающемся цилиндре / International conference on Hydrodynamic Instability and Turbulent. Proceedings of JCHIT – 06.26 February – March 2006, Moscow, Russia

36. Иванова А.А. Динамика жидкости во вращающемся горизонтальном цилиндре / А.А. Иванова, В.Г. Козлов, А.В. Чиграков // Изв. РАН. МЖГ. – 2004. – № 4. – С. 98-111.

37. Preziosi L. The run – off condition for coating and rimming flows / L. Preziosi, D.D. Joseph // J. Fluid Mech. – 1987. – V. 187. – P. 99-113.

38. Phillips O. M. Energy transfer in rotating fluids by reflection of inertial wave / O. M. Phillips // J. Phys of Fluids. – 1963. – V.6. – N 4. – P. 513-520.

39. Gans R. F. On a steady flow in a partially filled rotating cylinder / R. F. Gans // J. Fluid Mech. – 1977. – V. 82. – Pt. 3. – P. 415-427.

40. Патент на изобретение RUS 2336951 24.08.2006 Завражнов А.И., Пустовалов Д.В., Эрастов С.А. Центрифуга для частичного отделения сока из мезги

41. Ashmore J. The effect of surface tension on rimming flows in a partially filled rotating cylinder / J. Ashmore, A.E. Hosoi, H.A Stone // J. Fluid Mech. – 2003. – V. 479. – P. 65-98.

42. Овчинников А.А. Теоретическое обоснование параметров корнеклубнемойки / А.А. Овчинников // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы: сб. статей IV Всероссийской научно-практической конференции / под ред. И.Л. Воротникова. – Ч. II. – Саратов: КУБиК, 2012. – С. 115-120.

43. Tirumkudulu M. Coating flows within a rotating horizontal cylinder: lubrication analysis, numerical computations, and experimental measurements / M. Tirumkudulu, A. Acrivos // J. Phys. Of Fluids. – 2001. – V. 13. – N 1.– P. 14-19.

44. Козлов В.Г. О влиянии инерции волн на осредненную динамику центрифугированного слоя жидкости / В.Г. Козлов, А.В. Чиграков // Конвективные течения... – Пермь, 2003. – С. 163-174.
45. Козлов В.Г. Поведение вязкой жидкости в частично заполненном горизонтальном вращающемся цилиндре / В.Г. Козлов, А.В. Чиграков // Конвективные течения... – Пермь, 2005. – С. 137-151.
46. А. с. №485048 М. Кл. В 65q 47/38 АО1к 5/00, Бюл. №35. Дата опубликования 03.12.75. / Е.С. Дудышев, А.А. Овчинников.
47. Патент на полезную модель RU 87151 U1. Сбрасыватель кусковых материалов с внутренней вращающейся цилиндрической поверхности / А.А. Овчинников, В.Ф. Дмитриев, А.А. Овчинников. Заявка № 2009120877/22 от 01.06.2009. Зарегистрирован 27 сентября 2009 г.. Бюл. №27.
48. Чертов А.Г. Международная система единиц измерений / А.Г. Чертов. – М.: Высш. шк., 1967. – 288 с.
49. Захват рычажно-фрикционный // Подъемно-транспортное и складское оборудование: каталог. – М.: Информагротех, 1992. – С. 82.
50. Практикум по животноводству / В.А. Александров, А.Ф. Верниченко, Н.С. Шевелев и др. – М.; Колос, 1984. – С. 71.
51. Патент на полезную модель RU 114146U1 Многофункциональный прибор для замера параметров корнеплодов / Овчинников А.А., Мухин В.А., Овчинников А.А.
52. Мухин В.А., Овчинников А.А. Методика и результаты исследования физико – механических свойств корнеклубнеплодов / В.А. Мухин, А.А. Овчинников // Научное обозрение. – М., 2011. – С 13-16.
53. Большая советская энциклопедия. Т. 20. 3-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1975. – С. 131-135.
54. А. с. № SU1684625A1 СССР. Кл.G01N9/00 Устройство для определения плотности кормосмесей / Овчинников А.А. , Зайцев В.В. 1991. Бюл. № 38.

55. Красников В.В. Подъемно-транспортные машины / В.В. Красников. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1981. – 263 с.

56. Хмыров В.Д. Влияние физико-механических свойств кормов на работу ленточно-трубчатого транспортера / В.Д. Хмыров // Механизация заготовки, приготовления и раздачи кормов: сборник научных работ. – Саратов: СХИ им. Н. И. Вавилова, 1982. – С.133-137.

57. Патент на полезную модель RU1 17609U1 Прибор определения коэффициентов трения корнеклубнеплодов в жидкости / Овчинников А.А.

58. <http://ru.wikipedia.org>.

59. Патент на полезную модель RU 70086 U1, A23N 15/00 (2006.01) Гидротурбинная корнеклубнемойка / Овчинников А.А., Кузнецов В.А., Овчинников А.А. Заявка 2007130965/22, 13.08.2007. Опубл. 20.01.2008, бюл. №2.

60. Мухин В.А. Исследования коэффициентов трения качения и коэффициентов сопротивления сдвигу корнеклубнеплодов в воде / В.А. Мухин, А.А. Овчинников // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора В.Г. Кобы / под ред. Е.Е. Демина. – Саратов: КУБиК, 2011. – С. 120-122.

61. Папернов А.А. Методы упорядочения информации в цифровых системах / А.А. Папернов, В.Я. Подымов. – М.: Наука, 1973. – 384 с.

62. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадия создания.– М.: Изд-во стандартов, 1991.

63. Овчинников А.А. Модель экосистемы – животноводческая ферма / А.А. Овчинников // Вопросы научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте и в агропромышленном комплексе: межвуз. сб. науч. трудов. – Вып. 18. – Ч. 1. – Самара: ОАО. «Промжелдортранс», 1999. – С. 23-28.

64. ГОСТ Р 21379-99 Энергетический паспорт промышленного потребителя топливно-энергетических ресурсов. Основные положения. Типовые формы. – Введ. 2000–09–01. –М.: Изд-во стандартов, 2000.

65. Правила проведения энергетических обследований. Утв. Минтопэнерго России. 25.03.98. – М.:ЭСПО ОРГРЭС, 1998.
66. Животноводство: учеб. / Д.В. Степанов [и др.]. – М.: Колос, 2006. – 525 с. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
67. Демченко П.В. Биологические закономерности повышения продуктивности животных / П.В. Демченко. – М.: Колос, 1972. – 295 с.
68. Фенченко Н. Влияние различных факторов на молочную продуктивность коров / Н. Фенченко, Н. Хайрулина, В. Хусаинов // Молочное и мясное скотоводство. – 2005. – № 4. – С. 7-9.
69. Andersen P. The effect upon milk production of unequal intervals between twice-a-day milkings / P. Andersen // VIII Internationaler Tierzuchtkongress. Hamburg: Schlussbericht, 1963. – S. 174-176.
70. Smith V. The effect of increasing the negative pressure and widening of the vacuum release ratio on the rate of removal of milk from the udder / V. Smith, W. Petersen // J. Dairy Sci. – 1976. – N 1. – Vol. 29. – P. 45-55.
71. Сабликов М.В. Сельскохозяйственные машины. Часть первая. Устройство и работа / М.В. Сабликов. – М.: Колос, 1968. – С. 264-272.
72. Кузнецов В.А. Устройство и методика исследования гидротурбинной корнеклубнемойки / В.А. Кузнецов, А.А. Овчинников // Молодые ученые агропромышленному комплексу Поволжского региона: сб. науч. раб. – Саратов 2007 Вып. 4. – С. 82-86.
73. Карпов В.Н. Введение в энергосбережение на предприятиях АПК / В.Н. Карпов. – СПб.: СПбГАУ, 1999.
74. Лукьянов Б.В. Кормление свиней: Демонстрационная версия / Б.В. Лукьянов, П.Б. Лукьянов. – М.: МСХА, 2003.
75. Зафрен С.Я. Технология приготовления кормов: справ. пособие / С.Я. Зафрен. – М.: Колос, 1977. – 240 с.
76. Smith V. Physiology of lactation / V. Smith. – Iowa State University Press, 1959. – 291 p.

77. Справочник по математике (Для научных работников и инженеров). – Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 831 с.
78. Михайлова Н.А. Перенос твердых частиц турбулентным потоком воды / Н.А. Михайлова. – Л.: Гидрометеиздат, – 232 с.
79. Зайцев В.В. Элементарная математика / В.В. Зайцев, В.В. Рыжков, М.И. Сканава. – М.: Наука, 1976. – 192 с.
80. Федорец А.А. Расчет водосливов. Гидравлический прыжок Методические указания к выполнению расчетно-графических работ студентами специальности 1511–гидромелиорации / А.А. Федорец, Н.А. Ничик. – Кишинев, 1983. – 36 с.
81. <http://rostovnadonu.flagma.ru/moyka-ovocshey-o219138.html>
82. Зайцев С.П. Физическое моделирование системы «Кормовая масса – очиститель» / С. П. Зайцев, А. А. Федоров // Сб. науч. тр. ЧГСХА. – Чебоксары, 2002. – С. 205-207.
83. Коновалов В.В. Практикум по обработке результатов научных исследований с помощью ПЭВМ: учеб. пособие / В.В. Коновалов.– Пенза: ПГСХА, 2003. – 176 с.
84. Селиванов С.М. Основные размерные характеристики корней сахарной свёклы, влияющие на параметры рабочих органов для их очистки / С.М. Селиванов // Сб. науч. тр. Киргиз. СХИ. – Фрунзе, 1972. – С. 48-49.
85. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешин, П.М. Рошин.– Л.: Колос, 1980. – 168 с.
86. Нормативы потребности АПК в технике для растениеводства и животноводства: Нормативы. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – 2003. – 84 с.
87. ГОСТ 30167–95. Ресурсосбережение. Порядок установления показателей ресурсосбережения в документации на продукцию. – М.: Изд-во стандартов, 2001.
88. ГОСТ Р 51380–99. Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей

продукции их нормативным значениям. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2001.

89. ГОСТ Р ИСО 9001–96. Системы качества. Модель для обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

90. <http://www.ya-fermer.ru/market/oborudovanie-dlya-moyki-korneplodov-kartofelya-morkovi-svekly-redisa>.

91. ИСО 9000–1–95. Стандарты в области административного управления качеством и обеспечения качества. Ч. 1. Руководящие указания по выбору к применению.

92. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В.С. Шкрабак и др. – М.: Колос, 2004.

93. Калюжный И.И. Патология обмена веществ у импортного молочного скота / И.И. Калюжный, Н.Д. Баринов, А.Г. Смольянинов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 01. – С. 23-27.

94. Мухин В.А. Производительность и потребляемая теплота при мойке корнеплодов в гидротурбинной корнеклубномойке / В.А. Мухин, А.А. Овчинников // Тракторы и сельхозмашины. – № 11. – 2013. – С. 36-39.

95. Никитин В.С. Охрана труда на предприятиях пищевой промышленности / В.С. Никитин, Ю.М. Бурашников. – М.: Агропромиздат, 1991. – 350 с.

96. www.saratov.gov.ru/government/structure/minagro/npra/detail.php?ID=7383.

97. http://www.minagro.saratov.gov.ru/Razvitie/index.php?sphrase_id=14548.

98. Нормы технологического проектирования свиноводческих ферм крестьянских хозяйств. НТП–АПК 1.10.02.001–00. – М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2000.

99. <http://www.saratov.aif.ru/apk/news/45941>.

100. Овчинников А.А. Установка для мойки корнеплодов / А.А. Овчинников // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 4. – С. 9.

101. Нормы технологического проектирования ферм крупного рогатого скота крестьянских хозяйств. НТП–АПК 1.10.01.001–00. – М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. 2000.

102. Гутовский Е.В. Теория и гидродинамический расчет гидротурбин / Е.В. Гутовский, А.Ю. Колтон. – Л.: Машиностроение. – 1974. – 368 с.

103. Овчинников А.А. Математическая модель движения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемойке [Текст] / В.А. Мухин, А.Ю. Харитонов, А.А. Овчинников // Материалы научно–технического семинара имени В.В. Михайлова.- Саратов, 2014.- С.112–118.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 87151

**СБРАСЫВАТЕЛЬ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С
ВНУТРЕННЕЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ
ПОВЕРХНОСТИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2009120877

Приоритет полезной модели 01 июня 2009 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 сентября 2009 г.

Срок действия патента истекает 01 июня 2019 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) RU⁽¹¹⁾87 151⁽¹³⁾ U1

(51) МПК

B65G 47/34 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ (титульный лист)

(21), (22) Заявка: 2009120877/22, 01.06.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.06.2009

(45) Опубликовано: 27.09.2009 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

410012, г.Саратов, Театральная пл., 1, ФГОУ
ВПО "Саратовский государственный
аграрный университет имени Н.И. Вавилова",
патентный отдел

(72) Автор(ы):

Овчинников Александр Андреевич (RU),
Дмитриев Владимир Федорович (RU),
Овчинников Алексей Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова" (RU)

(54) СБРАСЫВАТЕЛЬ КУСКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВНУТРЕННЕЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(57) Формула полезной модели

Сбрасыватель кусковых материалов с внутренней вращающейся цилиндрической поверхности, включающий закрепленный на раме скребок, выполненный из гибкого материала и снабженный механизмом для изменения его рабочей поверхности, причем данный механизм жестко установлен на раме, отличающийся тем, что скребок выполнен в виде пустотелого конуса, причем образующая конуса, прилегающая к внутренней поверхности цилиндра, выполнена по радиусу цилиндра, а относительно продольной оси цилиндра скребок выполнен S-образной формы, кроме того, острие вершины конуса выполнено с углом α , близким к 0, и направлено под углом β навстречу движению кусковых материалов, с возможностью регулирования величины деляемого потока материала, в частности корнеплодов, а основание конуса имеет размер на 1/3 больше максимального диаметра сбрасываемого куска.

RU 87 151 U1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 70086

ГИДРОТУРБИННАЯ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2007130965

Приоритет полезной модели 13 августа 2007 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 20 января 2008 г.

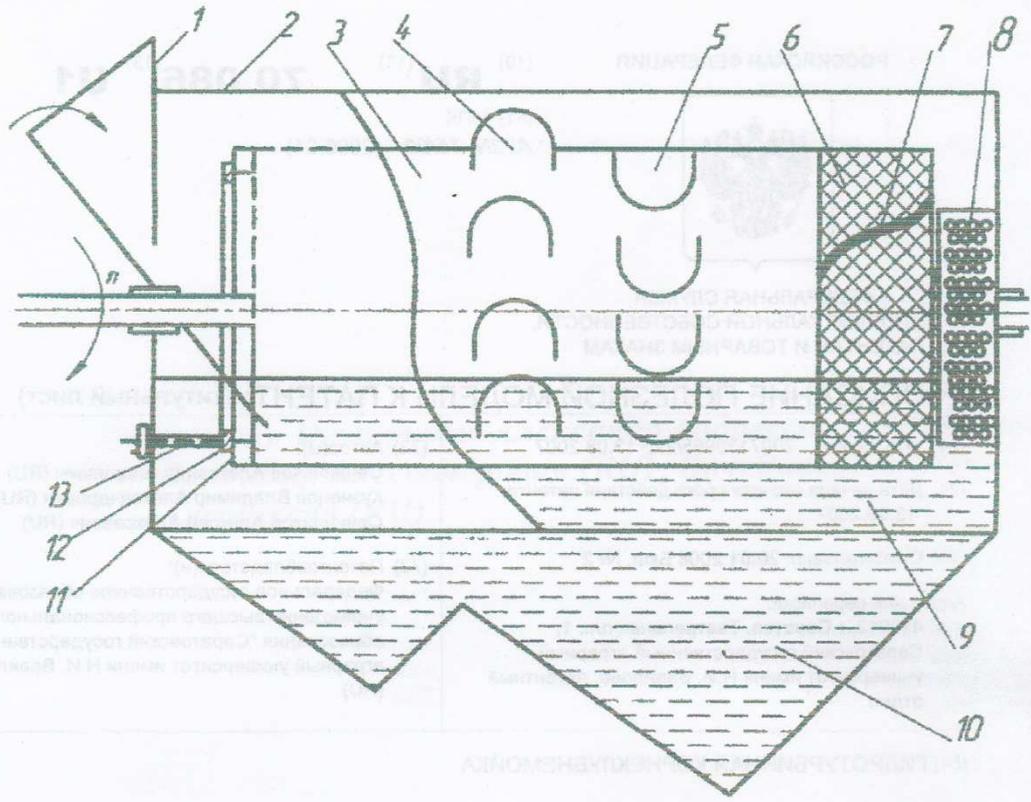
Срок действия патента истекает 13 августа 2017 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

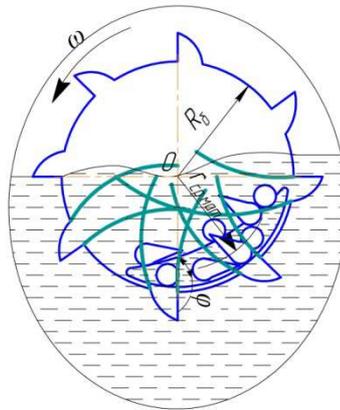
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ		(19) RU ⁽¹¹⁾	70 086 ⁽¹³⁾	U1
		(51) МПК A23N 15/00 (2006.01)		
		ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ, ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ		
(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ (титульный лист)				
(21), (22) Заявка: 2007130965/22, 13.08.2007		(72) Автор(ы): Овчинников Александр Андреевич (RU), Кузнецов Владимир Александрович (RU), Овчинников Алексей Алексеевич (RU)		
(24) Дата начала отчета срока действия патента: 13.08.2007		(73) Патентообладатель(и): Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)		
(45) Опубликовано: 20.01.2008 Бюл. № 2		RU 70086U1		
Адрес для переписки: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1 Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, патентный отдел				
(34) ГИДРОТУРБИННАЯ КОРНЕКЛУБНЕМОЙКА				
(57) Формула полезной модели				
<p>Гидротурбинная корнеклубнемойка, включающая загрузочный и выгрузной лотки, корпус, резервуар с моющей жидкостью с установленными в нем, приводимым во вращение барабаном, разделенным на чередующиеся между собой нагнетательные и вытяжные секции, имеющие отверстия, расположенные по окружности барабана, и лопасти, установленные вдоль одной из кромок отверстий под углом к поверхности барабана, при этом лопасти нагнетательных секций направлены навстречу вращению барабана, а лопасти в вытяжных секциях - в сторону вращения барабана, и сбрасыватель корнеклубнеплодов, расположенный в конце барабана, отличающаяся тем, что все лопасти нагнетательных и вытяжных секций выполнены в виде сферической поверхности, при этом барабан имеет дополнительную секцию, установленную в конце барабана для подсушки корнеклубнеплодов путем удаления остатков воды с корнеклубнеплодов под действием центробежной силы, причем лопасти данной секции установлены внутри барабана и имеют сферическую поверхность с постепенным подъемом в сторону выбросного отверстия, а сбрасыватель корнеклубнеплодов выполнен S-образной формы с углом входа в массу корнеплодов равным, 0-5°, с постепенным увеличением угла до значения, равного углу трения движения корнеклубнеплодов о материал сбрасывателя, после чего угол сбрасывателя на выходе массы корнеплодов с его поверхности снижается до 10-5°, кроме того, на входной части барабана радиально установлены торцовые ковши, с возможностью изменять величину открытия за счет подвижного ограничительного диска и регулятора производительности.</p>				
3919				
Стр. 1				



RU 7 0 0 8 6 U 1

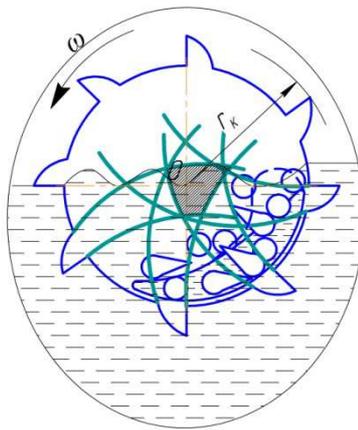
ПРИЛОЖЕНИЕ В

Распределение корнеплодов и воды в рабочей полости барабана



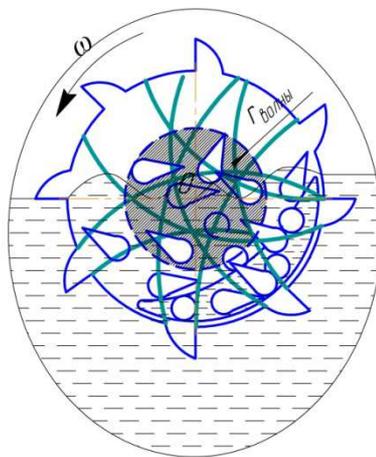
а

При заданной ω и высоких значениях Γ



б

Состояние частичного центрифугирования $\omega \rightarrow \Gamma_{кр}$



в

Режим центрифугирования при Γ^2

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 114146

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ЗАМЕРА
ПАРАМЕТРОВ КОРНЕПЛОДОВ**

Патентообладатель(ли): **Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова" (RU)**

Автор(ы): **см. на обороте**

Заявка № **2010153649**

Приоритет полезной модели **27 декабря 2010 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **10 марта 2012 г.**

Срок действия патента истекает **27 декабря 2020 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU⁽¹¹⁾114 146⁽¹³⁾ U1

(51) МПК
G01B 3/16 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) (22) Заявка: 2010153649/28, 27.12.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.12.2010

Приоритет(ы):

(23) Дата подачи заявки: 27.12.2010

(45) Опубликовано: 10.03.2012 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

410012, г.Саратов, Театральная пл., 1, ФГОУ
ВПО "Саратовский государственный
аграрный университет имени Н.И.
Вавилова", патентный отдел

(72) Автор(ы):

Овчинников Александр Андреевич (RU),
Мухин Виктор Алексеевич (RU),
Овчинников Алексей Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова" (RU)

RU 114146 U1

(54) МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ЗАМЕРА ПАРАМЕТРОВ КОРНЕПЛОДОВ**(57) Формула полезной модели**

Многофункциональный прибор для замера параметров корнеплодов, включающий раздвижные дуги с центром вращения с одной стороны и фиксатором усилия раскрытия дуг и скругленными наконечниками на конце дуг с другой стороны, причем на одной дуге жестко закреплен сектор со шкалой линейных замеров, проходящий через рамку для считки информации на другой дуге, отличающийся тем, что раздвижные дуги сжимаются пружиной и имеют сменные наконечники на концах, а центр вращения раздвижных дуг выполнен полым с возможностью соединяться шарнирно с рычагом электронных весов, установленных на конце поворотной части верхней стойки, соединяемой с нижней стойкой, закрепленной на монтажном ящике, причем на рычаг электронных весов установлена стрелка-отвес, показывающая центр тяжести корнеплода на шкале замера центра тяжести корнеплода.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

117609 (13) U1

(51) МПК
G01B3/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Статус: по данным на 27.06.2012 - действует
Пошлина:

(21), (22) Заявка: 2011139409/28, 27.09.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.09.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.09.2011

(45) Опубликовано: 27.06.2012

Адрес для переписки:

410012, г.Саратов, Театральная пл., 1, ФГБОУ ВПО
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова", патентный
отдел

(72) Автор(ы):

Овчинников Алексей Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Саратовский государственный аграрный
университет имени Н.И. Вавилова" (RU)(54) ПРИБОР ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ КОРНЕКЛУБНЕПЛОДОВ В
ЖИДКОСТИ

Формула полезной модели

Прибор определения коэффициентов трения корнеклубнеплодов в жидкости, содержащий подвижную поверхность трения, неподвижную емкость, трос с динамографом, отличающийся тем, что корнеклубнеплоды, загружаемые в неподвижную емкость через герметичный люк и закрепленные тросом с динамографом к шкиву электродвигателя, укладываются под различным углом к движению на подвижную поверхность трения, выполненную сменной из различных материалов (металл, стекло, дерево, резина, пластмасса) и устанавливаемую под различными углами к горизонту с помощью транспортира, причем горизонтальное перемещение корнеклубнеплодов осуществляется тросом с динамографом путем установки по соответствующей высоте перемещаемого по салазкам электродвигателя со шкивом, обеспечивающего соответствующую скорость движения корнеклубнеплодов и передачу усилия, при этом неподвижная емкость имеет прозрачную переднюю стенку и снабжена трубкой - цилиндром с поршнем и устанавливаемыми на ней грузами для создания давления внутри емкости, контролируемого по манометру, а также трубопроводом заполнения емкости жидкостью и спускным трубопроводом, а для осуществления визуального контроля движения корнеклубнеплодов используется видеокамера.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Пример результатов исследования сахарной свёклы фермерского хозяйства «Кондрашкино»

№ . № П/ П	Исход- ная масса, m ₁ , кг	Масса после мойки, m ₂ , кг	Масса совершенно чистых корнеплодов, m ₃ , кг	Степень исходной загряз- ненности , δ ₁ , %	Степень остаточной загряз- ненности, δ _{ост} , %	Максималь- ный диаметр, , D _{max} , мм	Минимальный диаметр, d _{min} , мм	Длина от головки до тах диаметра, l, мм	Общая длина корнеплода L, мм	Ширина канавки, b _к , мм	Глубина канавки, тах h _к , мм	Длина канавки, l _к , мм	Диаметр хвостика, d _х , мм
1	0,314	0,298	0,290	3,90	2,76	63	60	19	205	24	9	134	11
2	0,340	0,334	0,332	2,81	0,60	85	65	21	210	19	2	145	18
3	0,672	0,666	0,660	2,25	0,91	103	81	22	255	31	9	220	18
4	0,890	0,884	0,872	2,00	1,38	120	96	24	280	31	9	250	34
5	1,558	1,500	1,478	2,00	1,49	139	118	26	440	20	8	400	8
ср	0,755	0,736	0,726	2,232	1,428	101,4	84,6	22,4	278	25	7,4	229,8	17,8
1	0,938	0,934	0,900	0,45	3,38	111	91	28	190	12	6	140	29
2	1,156	1,155	1,140	0,1	1,32	130	110	39	232	36	10	150	31
3	1,214	1,210	1,192	0,34	1,51	150	140	25	180	34	11	90	37
4	1,294	1,266	1,120	2,5	13,04	160	140	0	170	29	11	55	91
5	1,374	1,373	1,342	0,15	2,31	140	135	27	200	33	15	140	44
ср	1,195	1,187	1,139	0,91	4,31	138,2	123,2	23,8	194,4	28,8	10,6	115	46,4

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
Результаты определения насыпной плотности исследуемых
корнеклубнеплодов, кг/м³

Название	Повторность опыта в ворохе					
	1	2	3	4	5	Среднее значение
1. Морковь каротель	752	912	888	808	840	840
2. Морковь нантская	661	649	702	709	701	684
3. Свёкла кормовая эккендорфская	639	656	675	618	695	656
4. Свёкла столовая	790	757	753	765	795	772
5. Свёкла сахарная Рамонская - 931	747	772	746	753	778	759
6. Картофель Лорх	652	647	625	682	680	657

ПРИЛОЖЕНИЕ З

Истинная плотность корнеклубнеплодов ρ , кг/м³, выращенных 2012г. на черноземной почве в фермерском хозяйстве «Кондрашкино» Ртищевского района Саратовской области

Вид корнеплода	Повторность опыта					Ср. арифм	Ср. квадрат	Ошибка опыта
	1	2	3	4	5			
Свёкла кормовая	1070,7	950,3	965,1	1125,5	1016,0	1025,5	1027,6	8,88
Свёкла сахарная	1071,0	1110,7	1098,6	1105,9	1111,0	1099,5	1099,5	2,34
Свёкла полусахарная	1001,0	896,9	990,1	909,7	977,9	955,12	956,1	4,01
Морковь	973,3	901,7	961,6	964,0	910,5	942,22	942,7	11,36
Картофель	1023,4	1040,1	1060,3	1057,1	1034,5	1043,1	1043,2	0,66

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Образец таблицы основных физико – механические свойства сахарной
свёклы

Поверхность трения	Плотность, кг/м ³			Угол естественного откоса, град		Угол качения, град			
	удельная (вороха)	истинная	в воде	Угол естественного откоса, град		Сухая поверхность		В воде	
				сухое	в воде	вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон
Дерево строганное	759	1050-1200	299	35-40	37	▶ 31,5 ● 13,3	▶ 33,5 ● 21	▶ 34 ● 19	▶ 35 ● 19,5
ДВП водостойкая с полированной поверхностью	759	1050-1200	299	37	36	▶ 26,25* ● 15*	-	▶ 32* ● 26,5*	-
Стекло небьющееся	759	1050-1200	299	35	34	▶ 19* ● 17*	-	▶ 21* ● 19*	-
Стекло-текстолит	759	1050-1200	299	35	34	▶ 28,5* ● 15,5*	-	▶ 32,25* ● 20,3*	-

Примечание:

- ▶ - положение хвостика корнеплода вперед к направлению движения;
- ◀ - положение хвостика корнеплода назад к направлению движения;
- – положение продольной оси корнеплода перпендикулярно к направлению движения;
- * - направление волокон в конструкционном материале названо условно.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Образец таблицы основных физико – механические свойства картофеля

Поверхность трения	Плотность, кг/м ³			Угол естественно го откоса, град		Угол качения, град			
	удельная (вороха)	истинная	в воде	сухое	в воде	Сухая поверхность		В воде	
						вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон
Дерево строганное	657	1047	390	35	30	▶21,5 ●11.75	▶30 ●11	▶21 ●18	▶19,3 ●17
ДВП водостойкая с полированной поверхностью	657	1047	390	34	33	▶29* ●12.6*	-	▶26.5* ●13*	-
Стекло небьющееся	657	1047	390	34	33	▶21* ●13*	-	▶15.8* ●13.7*	-
Стекло-текстолит	657	1047	390	34	33	▶21* ●13*	-	▶23.75* ●18.7*	-

Примечание:

- ▶ - положение хвостика корнеплода вперед к направлению движения;
- ◀ - положение хвостика корнеплода назад к направлению движения;
- – положение продольной оси корнеплода перпендикулярно к направлению движения;
- * - направление волокон в конструкционном материале названо условно.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Образец таблицы основных физико – механических свойств свёклы кормовой

Поверхность трения	Плотность, кг/м ³			Угол естественно го откоса, град		Угол качения, град			
	удельная (вороха)	истинная	в воде	Угол естественно го откоса, град		Сухая поверхность		В воде	
				сухое	в воде	вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон
Дерево строганное	656	1123	467	35-40	37	▶23- 32 ●11-13	▶22-39 ●10-14	Отдельные корнеплоды всплывают	
ДВП водостойкая с полированной поверхностью	656	1123	467	33-37	36	▶29-33* ●6-8*	-		
Стекло небьющееся	656	1123	467	30-35	33	▶13-16* ●9-10*	-		
Стекло-текстолит	656	1123	467	30-35	32	▶25-33* ●9-10*	-		

Примечание:

- ▶ - положение хвостика корнеплода вперед к направлению движения;
- ◀ - положение хвостика корнеплода назад к направлению движения;
- – положение продольной оси корнеплода перпендикулярно к направлению движения;

* - направление волокон в конструкционном материале названо условно.

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Образец таблицы основных физико – механические свойства моркови

Поверхность трения	Плотность, кг/м ³			Угол естественно го откоса, град		Угол качения, град				
	удельная (вороха)	истинная	в воде	Угол естественно го откоса, град		Сухая поверхность		В воде		
				сухое	в воде	вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон	
Дерево строганное	840	1072 – 942,2	232	35-37	30-35	▶ 31-36 ● 10-15	▶ 34-37 ● 12-15	Отдельные корнеплоды всплывают		
ДВП водостойкая с полированной поверхностью	840	1072-942,2	232	35-40	30-35	▶ 32-33* ● 8-12*	-			
Стекло небьющееся	840	1072-942,2	232	35-37	30-35	▶ 13-28* ● 12-14*	-			
Стекло-текстолит	840	1072-942,2	232	35-37	30-35	▶ 30-34* ● 7-12*	-			

Примечание:

- ▶ - положение хвостика корнеплода вперед к направлению движения;
- ◀ - положение хвостика корнеплода назад к направлению движения;
- – положение продольной оси корнеплода перпендикулярно к направлению движения;
- * - направление волокон в конструкционном материале названо условно.

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Утверждаю
 Генеральный директор
 ООО «Альянс-Авто» г.Саратова
 А.К.Чибрикин
 27 июня 2013г.



ПРОТОКОЛ
 заводских испытаний экспериментальной гидротурбинной
 корнеклубнемойки (опытная модель)

Комиссия в составе:

Председателя — зам.ген.директора ООО «Альянс-Авто» Кочкурова И.В.

И членов комиссии:

- | | |
|--|------------------|
| 1. Конструктор | Кунчигалиев В.Н. |
| 2. Инженер-конструктор ОГК | Сидоров М.А. |
| 3. Инженер-технолог | Зоин М.П. |
| 4. Зам.декана факультета механизации
сельского хозяйства и технического сервиса | Соколов В.Н. |

провела предварительные испытания гидротурбинной корнеклубнемойки (патент RU 70086U1.20.01.2008 Бюл.№2) (опытная модель).

В результате предварительных испытаний экспериментальной гидротурбинной корнеклубнемойки комиссия установила следующие данные:

1. Корнеклубнемойка изготовлена в соответствии с технической документацией.
2. Замечаний по результатам испытаний экспериментальной корнеклубнемойки нет.

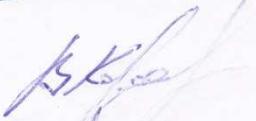
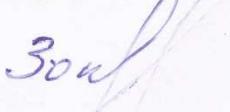
Комиссия считает экспериментальную гидротурбинную корнеклубнемойку принятой и рекомендует для промышленных испытаний у заказчика.

Подписи:

Председатель комиссии

 Кочкуров И.В.

Члены комиссии:

- | | | |
|---|--|------------------|
| – Конструктор |  | Кунчигалиев В.Н. |
| – Инженер-конструктор |  | Сидоров М.А. |
| – Инженер-технолог |  | Зоин М.П. |
| – Зам.декана факультета механизации
сельского хозяйства и технического сервиса |  | Соколов В.Н. |

ПРИЛОЖЕНИЕ О

Исходные данные для расчета экономической эффективности
экспериментальной гидротурбинной корнеклубнойки

Наименование	Размер	Кол-во, шт.	Масса, кг	Цена, руб.	Примечания
1. Уголок	1583x45x45x3	2	8,6	294,44	
	820x45x45x3	2	4,5	152,52	
	622x45x45x3	4	3,4	231,38	
2. Барабан	1580x580	1	35,2		
3. Шкив	Ø60	2	12,4	200,0	
	Ø125	1	7,9	130,0	
	Ø180	1	8,8	150,0	
4. Пульт управления		1		2500,0	
5. Вал	Труба Ø2", $t=3,2$	3		392,0	
6. Ролик	Ø250	6	18	300,0	Прорезиненный
7. Ванная	1583x820x670	1	71,1	1569,3	
8. Крышка	1583x820x410	1	16,99	375,0	
9. Загрузочная воронка	Лист 0,120м ²	1	1,5	41,7	Сталь
10. Скребок выгрузной	Лист	1	0,3	7,95	Сталь
11. Ковш		18	1,8	47,7	Сборный
12. Опорная пластина	157x157x5	1	3,87	83,94	Сталь

13. Косынка	123x60x2,5	1	1,45	31,45	Сталь
14. Электродвигатель $P_1 = 2,0$; $P_2 = 4,0$; $P_3 = 4,6$; $P_4 = 6,5$ кВт		1	23,5	11549,8	Асинхронный серии АО2-62-12/8/6/4
15. Вентиль ДУ 50		2		180	15кч18п
16. Фланец	Ø50	2		300	
17. Манометр МТ		1		177	1,6 МПа
18. Термометр ТТЖ		1		76	
19. Электроды МР-3				53	
20. Болты М16x80			3,2	267,84	
21. Гайка М16			0,8	95,2	
22. Труба п/э - 40	5			172,5	
23. Сварочные работы				5000	200 руб/шов
24. Монтажные работы				9740	Договорная цена
25. Прочие затраты				1909	
26. Транспортные расходы				6000	Договорная цена
Итого				41100	

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Прогноз поголовья животных и птицы во всех категориях хозяйств Саратовской области до 2020 г.

Показатели	Факт		Прогноз значений показателей по годам										2020 г. в % к	
	2009 г.	2010 г.	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2009 г.	2015 г.
Крупный рогатый скот – всего, тыс. гол.	537,9	547,3	575,7	598,5	622,4	647,3	673,2	713,5	753,8	794,1	834,4	874,7	162,6	129,9
в том числе:														131,0
молочного направления	509,2	514,0	538,0	559,8	579,4	600,7	623,4	661,8	700,0	739,2	778,3	816,9	160,4	
из него: коровы	223,3	230,9	207,4	211,6	213,6	215,4	216,3	224,9	234,4	244,7	255,4	269,5	120,7	124,6
мясного направления	28,7	33,3	37,9	40,1	42,4	45,3	48,6	54,1	60,1	66,8	73,6	77,1	в 2,7 раза	158,6
из него: коровы	14,9	17,3	20,1	20,5	20,8	21,3	22,8	25,1	28,1	30,9	34,0	37,3	в 2,5 раза	163,6
Свиньи, тыс. гол.	414,9	428,5	435,9	446,8	458,0	479,4	511,2	547,0	607,2	680,1	754,9	834,2	в 2,0 раза	163,2
Овцы и козы, тыс. гол.	575,7	605,7	629,4	654,4	678,5	700,2	721,4	744,2	780,7	818,3	860,7	913,0	158,6	126,6
в том числе овцы	541,8	568,5	597,3	609,2	637,4	663,6	684,2	706,4	741,7	778,5	820,6	871,7	160,9	127,4
Лошади, тыс. гол.	23,4	22,6	22,9	23,4	23,7	24,0	24,3	25,9	27,3	28,4	29,0	30,0	128,2	123,5
Птица, тыс. гол.	6220,3	6385,4	6483,7	7002,4	6996,5	6985,8	6979,4	7677,3	8828,9	10153,2	11676,2	13427,6	в 2,2 раза	192,4
Кролики – всего, тыс. гол.	48,1	48,1	48,1	48,2	48,3	48,5	48,6	53,4	58,1	62,9	67,7	72,4	150,5	149,0
Наличие пчелосемей, тыс. шт.	35,5	36,0	37,4	39,6	42,0	45,1	48,2	50,5	52,8	55,0	57,3	59,6	167,9	123,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Прогноз продуктивности животных и птицы до 2020 г.

Показатели	2009 г. факт.	Прогноз значений показателей по годам										
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Надой молока на 1 корову в год, кг	4275	4535	4791	4912	5010	5115	5212	5316	5428	5536	5611	5686
Среднесуточный привес крупного рогатого скота на выращивании и откорме, г	470	490	502	510	556	591	626	650	675	681	705	730
Среднесуточный привес живой массы свиней, г	242	243	245	247	250	257	266	279	293	308	322	335
Среднесуточный привес овец на выращивании и откорме, г	107,0	109,0	110,0	112,0	113,0	114,0	115,0	116,0	115,0	118,0	120,0	122,0
Настриг шерсти от 1 овцы в год, кг	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5
Среднесуточный привес живой массы на 1 гол. молодняка птицы – в среднем, г	10,0	10,8	10,8	11,0	11,2	11,5	11,8	11,8	11,9	11,9	12,0	12,0
Среднесуточный привес живой массы бройлеров на 1 голову, г	40,0	40,2	42,8	44,0	46,0	48,5	50,0	50,4	50,8	51,2	51,6	52,0
Яйценоскость 1 курицы-несушки в год, шт.	287	290	292	295	298	302	308	312	315	317	319	320

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Исходные данные для расчета экономического эффекта от совершенствования технологического процесса мойки корнеклубнеплодов

	1 вариант	2 вариант
1. Производительность за час машинного времени, т	5,0	10,0
2. Коэффициент использования смены	0,9	0,9
3. Производительность за час сменной работы	4,5	9,0
4. Годовая загрузка корнеклубнемойки в часах:		
- на фермах КРС		335
5. Срок эксплуатации, лет		7
6. Норма амортизационных отчислений, %		14,0
7. Норма затрат на техническое обслуживание и ремонт, %		10,0
8. Установленная мощность электропривода, кВт	2,0	2,5
9. Расход электроэнергии за 1 час, кВт/ч	2,0	2,5
10. Стоимость 1 кВт/ч, руб. (в ценах 2013г)		2,7
11. Часовая оплата мастера, руб.		60
12. Доплата за разряд рабочему, руб.		15
(Принимаем 1 разряд. Доплата 25%)		
13. Коэффициент, учитывающий условия труда. К2		1,8
14. Среднее количество рабочих дней в месяце при 6 дневной рабочей неделе, дней		25,2
15. Продолжительность смены, ч		2,5 - 6,5
16. Коэффициент сменности		0,42
17. Количество рабочих занятых в производстве, чел		1,0
18. Коэффициент перевода стоимости экспериментальной установки в стоимость серийно – выпускаемой машины		0,25

19. Коэффициент перевода цены выпускаемых корнеклубнемоек в балансовую стоимость	1,1
20. Экономический эффект в пересчете на 1 тонну вымытых корнеклубнеплодов, руб/т. на экспериментальной установке	96,7
21. Налог на добавочную стоимость, %	20
22. Снабженческо – сбытовая наценка, %	5
23. Коэффициент сложности работы	1,2
24. Размер дополнительной оплаты рабочего, %	25
25. Норма страхования за год, %	0,45
26. Накладные расходы в % от годовых эксплуатационных затрат	1,6
27. Годовое потребление корнеклубнеплодов, кг/гол.:	
- коров при удое 5,5 – 6,0 тыс. кг/гол	5500
- быку - производителю кг/гол	6600
28. Отчисления на социальные нужды, %:	
- фонд пенсионный	22
- фонд соцстраха	2,9
- фонд мед. страха	5,1
- фонд занятости	1,5

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

«Утверждаю»



Директор ЗАО Агрофирма «Волга»
Заслуженный работник
сельского хозяйства России,
кандидат экономических наук
Н.С. Кубайтов

« 2 » сентября 2013

Акт

Производственных испытаний гидротурбинной корнеклубномойки

Комиссия в составе специалистов ЗАО «Агрофирма «Волга» в лице: Председателя: Мажаева Н.И. – главного зоотехника ЗАО Агрофирма «Волга», членов: Тарлева В.И., главного инженера ЗАО Агрофирма «Волга», Пенцова В.Н., главного ветврача ЗАО Агрофирма «Волга», Мухина В.А. д.т.н. профессора кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» СГАУ им. Н.И. Вавилова, Овчинникова А.А., аспиранта кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» СГАУ им. Н.И. Вавилова провели испытания гидротурбинной корнеклубномойки.

На основании проверки работоспособности корнеклубномойки, изготовленной в соответствии с патентом на полезную модель RU 70086U1 и RU 87151U1, установили:

1. Корнеклубномойка конструкции СГАУ им. Н.И. Вавилова вписывается в ПТЛ кормоцеха подготовки кормов для ферм крупного рогатого скота по показателям, контролируемым НТП1-99.и совмещает: комфортные и экологические условия технологического процесса и труда оператора.
2. Корнеклубномойка благодаря меньших в два раза габаритных размерах и герметичного исполнения, удобна в обслуживании и обеспечивает нормальные санитарные условия для оператора.
3. Благодаря простой конструкции корнеклубномойки она показала высокую надежность в эксплуатации.
4. Наилучший эффект по качеству очистки корнеплодов и сохранности обрабатываемого сырья достигается путем трехстороннего воздействия на корнеклубнеплод водой и сокращенной в два раза экспозицией нахождения корнеплода в воде.

Предложения:

1. Предусмотреть современные средства учета выдаваемой массы готового продукта потребителю.
2. Разработать рекомендации по эксплуатации принципиально новой гидротурбиной корнеклубномойки.
3. Рекомендовать Министерству сельского хозяйства Саратовской области массовое изготовление конкурентоспособной корнеклубномойки,

обеспечивающей минимальный удельный расход воды на обрабатываемый продукт.

Председатель комиссии:

главный зоотехник ЗАО Агрофирма «Волга»



Мажаев Н.И.

Члены комиссии:

главный инженер ЗАО Агрофирма «Волга»



Тарлев В.И.

главный ветврач ЗАО Агрофирма «Волга»



Пенцов В.Н.

профессор кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» СГАУ им. Н.И. Вавилова д.т.н. профессор



Мухин В.А.

аспирант кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» СГАУ им. Н.И. Вавилова



Овчинников А.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ У

Утверждено
 Директор ООО «Орловское»
 Марковского района Саратовской
 области
 Гриценко В.И.

«26» сентября 2013 г.

Акт

производственных испытаний гидротурбинной корнеклубнемойки

Комиссия в составе представителей ООО «Орловское» главного инженера Гришина И.П., зоотехника Быкова П.П. и аспиранта кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» СГАУ им. Н.И. Вавилова Овчинникова А.А. Составили настоящий АКТ на хозяйственные испытания и производственную проверку гидротурбинной корнеклубнемойки, сконструированной на кафедре «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» (исполнители профессор Мухин В.А., аспирант Овчинников А.А.) Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова, работающей по принципу вращения барабана с горизонтальной осью в воде в режиме центрифугирования, защищенной патентами на полезную модель RU 70086U1 и RU 87151U1.

Испытания и производственная проверка проводилась в период с 25 августа 2013г. до 25 декабря 2013г. на подготовке корнеклубнеплодов к скармливанию на животноводческой ферме хозяйства.

Производственные испытания опытного образца показали его работоспособность на мойке корнеклубнеплодов, выращенных в хозяйстве, со следующими технологическими параметрами:

- производительность, т/ч	12;
- исходная загрязнённость корнеплодов, %	3 – 18;
- конечная загрязнённость, %	1,5 – 1,9;
- расход воды, л/т	190 – 215;
- удельные затраты энергии, кВт-ч/т	2,0 – 2,2;
- удельные затраты труда, чел-ч/т	0,1;
- масса корнеклубнемойки, кг	150.

При сравнении работы базовой корнеклубнемойки ПБ - 1500 с экспериментальной гидротурбинной корнеклубнемойкой получены следующие технико – экономические параметры:

- снижены затраты труда	в 2,0раза;
- снижены затраты воды	на 30 %;
- снижены удельные затраты электроэнергии	в 3,9раза.

Достоинство: удобство обслуживания и лучшие санитарные условия труда рабочего.

Для повышения эффективности работы экспериментальной корнеклубнемойки необходимо в конструкции предусмотреть прибор показывающий уровень загрязненности воды.

По результатам производственных испытаний комиссия пришла к выводу, что разработанную гидротурбинную корнеклубнемойку можно использовать в хозяйствах различного направления, имеющих различное поголовье животных.

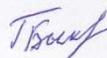
Члены комиссии:

Главный инженер хозяйства



Гришин И.П.

Зоотехник



Быков П.П.

Аспирант кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в АПК» СГАУ им. Н.И. Вавилова



Овчинников А.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

Графики зависимости производительности Q корнеклубнеймойки от частоты вращения барабана n и интенсивности осцилляционного воздействия Γ при исходной загрязненности $\delta_{исх} = 6.0\%$ по исходному продукту

