

На правах рукописи



ОВЧИННИКОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БАРАБАННОЙ
КОРНЕКЛУБНЕМОЙКИ ОБОСНОВАНИЕМ
КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2014

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Научный руководитель - **Мухин Виктор Алексеевич,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Юхин Геннадий Петрович,**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Технологическое
оборудование животноводческих и
перерабатывающих предприятий»
ФГБОУ ВПО «Башкирский ГАУ»

Фролов Владимир Юрьевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Механизация
животноводства и безопасности
жизнедеятельности» ФГБОУ ВПО
«Кубанский ГАУ»

Ведущая организация - ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный аграрный университет».

Защита диссертации состоится «26» декабря 2014 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410056, г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» и на сайте www.sgau.ru.

Отзывы на автореферат направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл., 1.
E-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чекмарев Василий Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. За последнее десятилетие в России произошло снижение производства молочной продукции. Животноводческая отрасль работает в условиях жесткой конкуренции со стороны возросшего импорта. Годовое потребление молока на душу населения в настоящее время составляет 58 % медицинской нормы.

Белковая часть пищевого рациона по нормативам питания 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. Поэтому для удовлетворения потребностей населения в продуктах питания необходимо увеличить прирост продукции животноводства на 120,2 % к 2020 г. по сравнению с 2012 г.

Одним из перспективных направлений прироста производства молока является увеличение в рационе животных корнеклубнеплодов, которые обладают высокими продуктивными свойствами. Однако их загрязненность почвой достигает 20 % при зоотехнических требованиях не более 3 % при скармливании животным, чего в достаточной степени не обеспечивают существующие корнеклубнеплодные машины с требуемой технологической производительностью, особенно по очистке свёклы. Использование корнеклубнеплодов с высокой степенью загрязненности приводит к заболеваниям животных. Поэтому совершенствование способов и средств механизации подготовки корнеклубнеплодов к скармливанию животным 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. Разработаны и проверены на животноводческих фермах ряд машин по очистке корнеклубнеплодов, изучено взаимодействие их рабочих органов с обрабатываемым продуктом.

Они имеют низкую производительность и качество конечного продукта при большом расходе воды, вызванное длительным пребыванием корнеклубнеплодов в воде.

Использование комбинированных барабанных корнеклубнемоек с душирующими водяными струями и щёточными элементами для активизации очистки приводит к усложнению конструкции и росту удельных затрат ресурсов.

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.

Научная новизна работы заключается в разработке: классификации корнеклубнемоечных машин; технических решений гидротурбинной корнеклубнемойки, приборов для определения физико-механических свойств корнеклубнеплодов; получении теоретических и экспериментальных зависимостей для обоснования рабочего процесса и определения конструк-

тивно-технологических и режимных параметров корнеклубнемо́йки.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в: разработке функциональной модели основных материально-энергетических потоков в поточной технологической линии (ПТЛ) подготовки корнеклубнеплодов; получении аналитических выражений для определения производительности ПТЛ очистки корнеклубнеплодов от загрязнителей и производительности барабанной гидротурбинной корнеклубнемо́йки; определении аналитических зависимостей конструктивно-режимных параметров гидротурбинной корнеклубнемо́йки; разработке математической модели движения корнеклубнеплодов в барабане корнеклубнемо́йки; разработке приборов для определения физико-механических свойств корнеклубнеплодов (патенты RU 117609 U1; RU 114146 U1); разработке конструктивно-технологической схемы гидротурбинной корнеклубнемо́йки (патенты RU 70086 U1; RU 87151 U1).

Производственные испытания опытного образца гидротурбинной корнеклубнемо́йки в ЗАО «Агрофирма «Волга» и ООО «Орловское» Марксовского района Саратовской области показали, что производительность достигает 5–15 т/ч, остаточная загрязненность составляет 1,5–1,9 %, расход воды на тонну корнеклубнеплодов в 2–2,5 раза меньше в сравнении с существующими машинами.

Полученные результаты могут быть использованы проектными и конструкторскими организациями при определении параметров корнеклубнемо́ек 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 и барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки;
- 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 обеспечена достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, подтверждаются экспериментальными исследованиями, выполненными в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Основные научные положения, выводы и практические рекомендации 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, 2014); 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).

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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «Состояние вопроса. Цель и задачи исследования» на основании анализа существующих способов и средств мойки корнеклубнеплодов в России и за рубежом в животноводстве, пищевой, сахароваренной и др. отраслях, разработана их классификация, выявлено перспективное направление – создания барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки. Она должна обеспечить востребованную технологическую производительность и качество в соответствии с зоотехническими требованиями по остаточной загрязненности корнеклубнеплодов при высокой безопасности труда и экологичности, а также минимальных материально-технических затратах.

В изучении теории и практики по совершенствованию технологии и средств механизации обработки корнеклубнеплодов и бахчевых перед скармливанием животным значительный вклад внесли 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. Во многих разработках поведение воды и её роль в повышении производительности и качества мойки не акцентируется, без

учета которой невозможно создать перспективную корнеклубнемойку.

Наибольшими положительными свойствами корнеклубнемоек являются: простота конструкции, высокая эксплуатационная надежность, универсальность обработки корнеклубнеплодов и бахчевых культур, которыми обладают барабанные корнеклубнемойки. Недостатками этих машин является: низкая производительность, длительное нахождение корнеклубнеплодов в воде (до 6 мин), низкая частота вращения барабана ($19\text{--}25\text{ мин}^{-1}$), вызванные отсутствием в теории расчёта производительности показателей исходной загрязнённости и потерь обрабатываемой массы, а также приборов для изучения физико-механических свойств корнеклубнеплодов в воде. Все это сдерживает производство и применение барабанных корнеклубнемоечных машин.

Во **второй главе** «Разработка приборов для изучения физико-механических свойств корнеклубнеплодов и конструктивно-технологической схемы барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки» представлены общие и частные методики исследований, отражающие основные процессы, происходящие в ней. Разработаны многофункциональный прибор и методика одновременного замера длины, диаметра, массы, центра тяжести корнеклубнеплода, прибор для исследования плотности корнеплода в воде и прибор для определения коэффициентов трения корнеклубнеплодов в воде по поверхности текстолита, небьющегося стекла и др. материалов. Прибор позволяет определять истинную плотность и плотность корнеклубнеплодов в воде. Некоторые результаты исследований физико-механических свойств корнеклубнеплодов с помощью разработанных приборов представлены в таблице 1 и в виде графических зависимостей. Истинная плотность сахарной свёклы составляет $1050\text{--}1100\text{ кг/м}^3$, кажущаяся плотность $500\text{--}750\text{ кг/м}^3$ и плотность в воде $80\text{--}200\text{ кг/м}^3$, плотность почвы на корнеплодах 1100 кг/м^3 .

Основным показателем качества мойки является остаточная загрязнённость $\delta_{\text{ост}}$, которая находится в зависимости от основных размерных

составляющих корнеклубнеплодов, отражённых в виде графиков.

Таблица 1. Кажущая и истинная плотность корнеклубнеплодов – ρ_0 , ρ , плотность корнеклубнеплодов в воде $\rho_{\text{в}}$, кг/м³, χ отношение кажущей плотности к истинной

Название	Экспериментальные показатели					
	ρ_0	ρ	$\rho_{\text{в}}$	χ	$\rho_0 - \rho$	$\rho_0 - \rho_{\text{в}}$
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

Исходная загрязненность корнеклубнеплода сахарной свёклы 2,9 % при массе m_1 , равной 0,314 кг, уменьшается до 2 % при возрастании массы корнеклубнеплода до 1,558 кг. Истинная плотность и другие физико-механические показатели имеют аналогичную зависимость и для других кормовых культур. Влияние длины корешковой канавки на загрязненность корнеклубнеплода имеет приближённо криволинейный характер и не позволяет сделать точный вывод о пропорциональности её влияния на исходную загрязненность, так как она имеет различную глубину, ширину и форму, и в ней располагаются корешки различного диаметра, густоты и длины.

Проведённые исследования показали, что отмыть до зоотехнических норм отдельные корнеклубнеплоды сахарной свёклы от загрязнителей, находящихся в корешковой канавке, на существующих корнеклубнемойках за время 1–2 мин затруднительно. Применяемые барабанные корнеклубнемойки содержат в общем случае: загрузочную воронку, ванну, внутри которой расположен вращающийся барабан, выгрузную горловину, электродвигатель, грязеотстойник, заслонки для вывода грязи.

Совершенствование барабанной корнеклубнемойки было осуществлено с целью повышения производительности, улучшения качества конечного продукта и снижения удельного расхода воды.

Конструктивно-технологическая схема (рисунок 1) предлагаемой

гидротурбинной корнеклубнемойки в ПТЛ мойки корнеклубнеплодов решает эту проблему. Она включает весы 1, с установленным на них подающим транспортером 2 с бункером 3 для загрязнённых корнеклубнеплодов.

Транспортер 2 подаёт корнеклубнеплоды через загрузочную воронку 4 во вращающийся в воде барабан 6, на поверхности которого расположены нагнетательные ковши 7, образующие струи воды для отбрасывания прижатых к внутренней стенке барабана корнеклубнеплодов

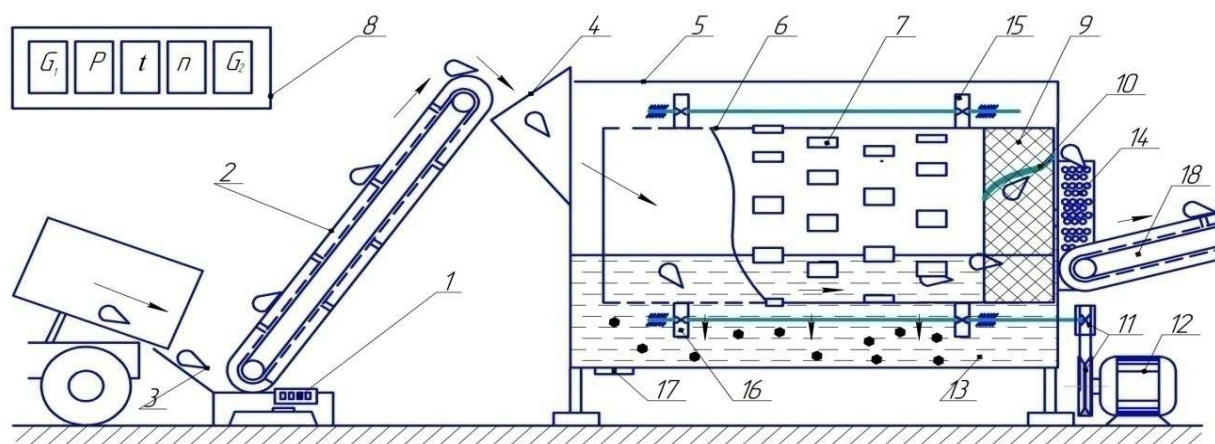


Рисунок 1 – Технологическая схема барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки в ПТЛ мойки корнеклубнеплодов

1 – весы; 2, 18 – транспортер; 3 – бункер загрязнённых корнеклубнеплодов; 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

и активного их омывания. Секция 9 удаления воды с поверхности корнеклубнеплодов и загрязнителей выбрасывает воду из барабана и с корнеклубнеплодов, а совместно с выгрузным скребком 10 выводит чистые корнеклубнеплоды на выгрузной транспортер 18. Барабан 6 получает вращение от электродвигателя 12 через опорно-ведущие ролики 16, а удерживается от радиального перемещения прижимными роликами 15. Контроль за технологическими процессами осуществляется с пульта 8.

В третьей главе «Теоретическое обоснование рабочего процесса, конструктивно-технологических и режимных параметров барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки» рассмотрено влияние множества

входных факторов X (рисунок 2) функциональной модели основных материально–энергетических потоков в ПТЛ подготовки корнеклубнеплодов на максимальное энергосодержание конечного продукта факторов Y за счёт воздействия возмущающих компонентов $\sum F = f(w, t, \varphi \dots)$, отрицательно влияющих на окружающую среду и качество конечного продукта.

Потребителем было поставлено условие: машина должна выдавать востребованную массу конечного продукта $Y_{\text{вых}}$, с учетом нормативной остаточной загрязненности $\delta_{\text{ост}}$ и потерь исходной массы Δ_m . При этом корнеклубнемойка должна обработать массу корнеклубнеплодов $Y_{\text{загр}}$, больше, чем предусмотрено в рационе животных, на величину потерь исходной массы Δ_m и питательных составляющих.

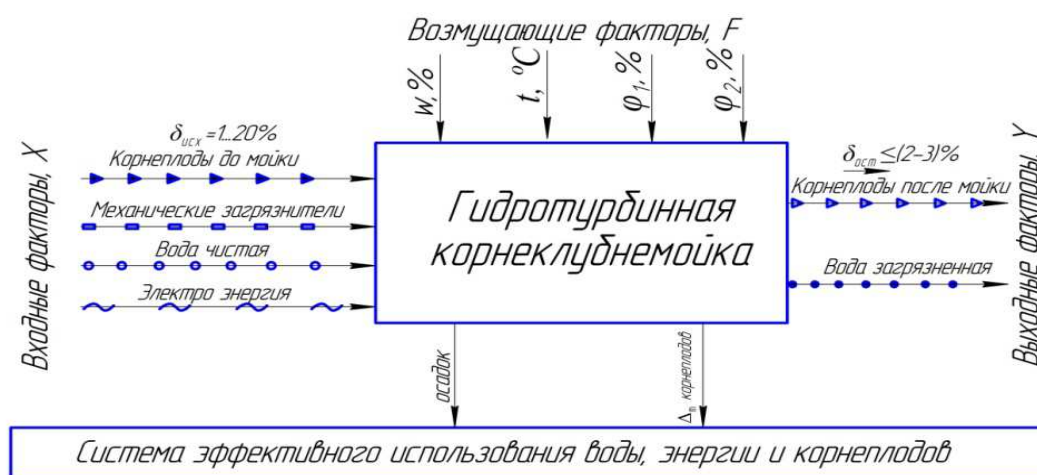


Рисунок 2–Функциональная модель основных материально-энергетических потоков в ПТЛ подготовки корнеклубнеплодов

w –влажность загрязнителей, %; t –температура среды, °C; φ_1 –коэффициент трения корнеклубнеплодов по конструкционным материалам; φ_2 –коэффициент сопротивления сдвигу корнеклубнеплодов в воде

Тогда $Y_{\text{загр}}$ выразится в виде уравнения

$$Y_{\text{загр}} = \frac{\sum_{i=1}^n n_{\text{ж}} \cdot m_{\text{сут}} (100 + \delta_{\text{исх}} + \Delta_m)}{100}, \quad (1)$$

где $n_{\text{ж}}$ –поголовье i половозрастной группы животных, гол.; $m_{\text{сут}}$ –суточная норма корнеклубнеплодов для i половозрастной группы животных, кг/гол., $\delta_{\text{исх}}$ –исходная загрязненность корнеклубнеплодов, %; Δ_m –потери исходной

массы корнеклубнеплодов в виде отломанных корешков, %.

Востребованную массу обработанных корнеклубнеплодов должна удовлетворить экспериментальная барабанная гидротурбинная корнеклубнемойка с производительностью выраженной уравнением

$$Q_3 = 3600\varphi_3 \pi R_0^2 v_k \rho_{к.в} K_3, \quad (2)$$

где Q_3 – производительность барабанной корнеклубнемойки, кг/ч;

φ_3 – коэффициент заполнения объёма экспериментального барабана, %.

Принимаем $\varphi_3 = 1/3$;

v_k – скорость транспортирования корнеклубнеплодов в ванне, м/с;

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

K_3 – коэффициент воздействия водяных струй на качественные показатели обработанных корнеклубнеплодов, который определяется экспериментально и зависит от скорости водяного потока и площади его поперечного сечения $K_3 = 1,1-1,3$.

Повышение эффективности технологического процесса мойки корнеклубнеплодов достигнуто за счёт увеличения частоты вращения барабана до критического, установки на нем нагнетательных ковшей $Z_{ков}$, создающих водяные струи, обеспечивающие интенсификацию процесса мойки и сокращение времени пребывания корнеклубнеплодов в воде, через управление скоростью перемещения корнеклубнеплодов.

Количество нагнетательных ковшей $Z_{ков}$ определяется по формуле

$$Z_{ков} = \frac{m_{вк.сек}}{a_k b_k \varphi_{н.к.} (R_0 + a_k) \rho_{вод}}, \quad (3)$$

где $m_{вк.сек}$ – масса воды и корнеклубнеплодов в барабане, кг; a_k, b_k – ширина и высота нагнетательного ковша, м.; Принимаем b_k равной минимальному диаметру корнеклубнеплода, что исключает обратное попадание его через ковша в ванну; $\varphi_{н.к.}$ – коэффициент заполнения ковшей; R_0 – радиус барабана, м.; $\rho_{вод}$ – средняя плотность корнеклубнеплодов с водой в барабане, кг/м³

Под действием центробежных сил $P_{ц.т.к.}$, (рисунок 3) корнеклубнеплоды 5, находящиеся в ванне 3 с водой 4, прижимаются к внутренней стенке барабана 1 и вовлекаются во вращательное движение.

$$P_{ц.т.к.} = m_{кор} \omega_k^2 r_{ц.т.к.}, \quad (4)$$

где $m_{кор}$ – масса корнеклубнеплодов в ванне, кг; ω_k – угловая скорость центра тяжести корнеклубнеплодов, рад/с; $r_{ц.т.к.}$ – радиус центра тяжести корнеклубнеплодов, м.

Корнеклубнеплоды под действием струй воды, нагнетаемых ковшами 2, омываются и отбрасываются ими от внутренней стенки барабана в воду.

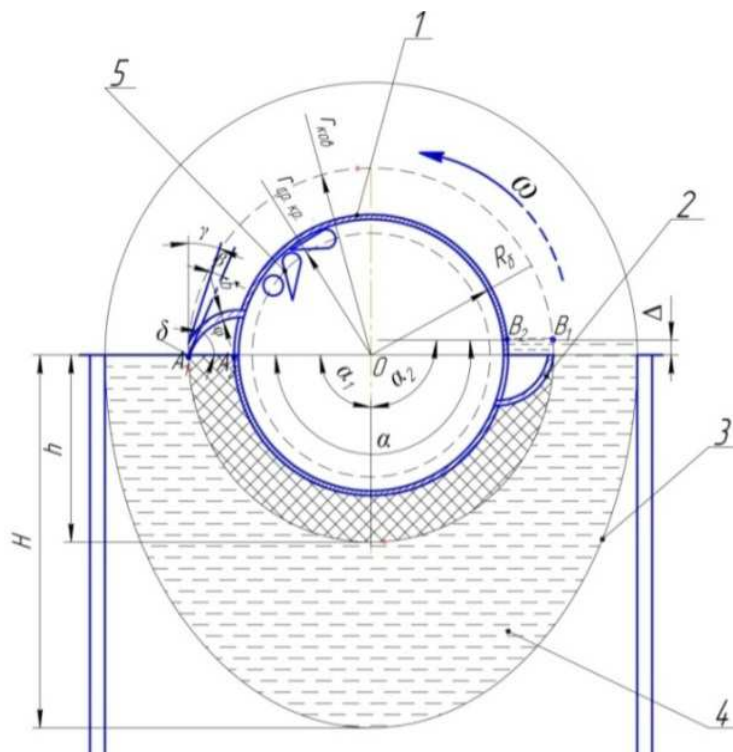


Рисунок 3—Схема к теории расчёта параметров гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

При вращении барабана 1 с частотой ω ковши 2 зачерпывают воду, прогоняют её через себя, образуя i количество водяных струй.

Для оптимизации процесса мойки корнеклубнеплодов поделили длину барабана L (рисунок 4) на участки l_1, l_2, l_3, l_4 , по условно выполняемым процессам и сделали анализ силового воздействия на корнеклубнеплоды в среде водяного потока.

Длина секции удаления воды и загрязнителей l_4 , с поверхности корнеклубнеплода, а также их выгрузки

$$l_4 = \frac{Z_{ков} a_k b_k}{2\pi R_0 \eta_{y0}}, \quad (5)$$

где η_{y0} – КПД секции удаления воды и загрязнителей, принимается равным 0,95 – 0,97.

При работе барабанной мойки на участках l_1, l_2, l_3 на корнеклубнеплоды действуют силы: G_k – сила тяжести корнеклубнеплодов, Н; N ; P_n – подъемная сила воды, действующая на корнеклубнеплоды, Н; P_u – центробежная сила, действующая на корнеклубнеплод, Н; P_6 – сила нагнетаемой ковшами воды, Н; F_k – сила Кориолиса, Н.

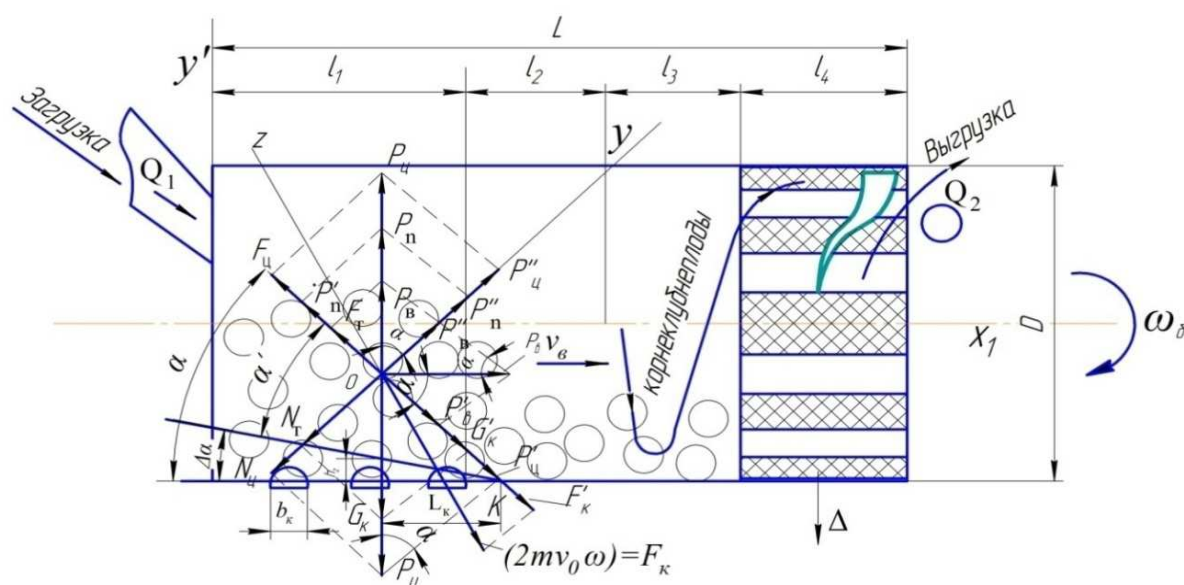


Рисунок 4 – Схема сил, действующих на корнеклубнеплоды во вращающемся барабане, в среде водяного потока

Технологические участки: l_1 – загрузки, l_2 – отмокания, l_3 – активного отмывания, l_4 – удаления воды и загрязнителей и выгрузки; m_k – средняя масса корнеклубнеплода в воде; ω_b – угловая скорость вращения барабана; v_0 – относительная скорость перемещения корнеклубнеплодов и воды вдоль барабана; α – угол естественного откоса корнеклубнеплодов в воде; $m_{к.в.}$ – масса струи воды, выбрасываемой ковшем; Q_2 – производительность корнеклубнемойки по готовому продукту.

Силу тяжести корнеклубнеплодов в воде G_k определяли по формуле

$$G_k = A(\rho_k - \rho_в)gd_k^3, \quad (6)$$

где A – коэффициент формы корнеклубнеплодов; $\rho_k, \rho_в$ – плотность корнеплодов и воды, кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; d_k – усредненный диаметр корнеклубнеплодов, м.

С учетом эффективного заполнения барабана на 1/3 и его вращения в

водяной среде центробежную силу инерции P_y , определяли по формуле

$$P_y = \frac{1}{3} m_k \omega_o^2 R_o, \quad (7)$$

где m_k - масса корнеклубнеплодов в барабане, кг.

Силу нагнетаемой ковшами воды P_o , определяли из выражения

$$P_o = \rho_o b_k a_k \omega_o R_o v_o, \quad (8)$$

где v_o - средняя продольная скорость потока воды внутри барабана, м/с.

При $\omega_o R_o = v_o$ силу P_o определим по формуле

$$P_o = \rho_o a_k b_k v_o^2. \quad (9)$$

Условие, описывающее движение корнеклубнеплодов вдоль барабана в координатах xu для участка l_1 , запишем системой уравнений

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n F_{ix} = 0 \\ \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0 \end{cases}, \quad (10)$$

где $\sum_{i=1}^n F_{ix}$, $\sum_{i=1}^n F_{iy}$, $\sum_{i=1}^n F_{iz}$ - сумма проекций действующих сил.

Подставив значения проекций сил на оси x и y , получим уравнения:

$$\begin{cases} m_k \frac{dv_x}{dt} = \rho_o a_k b_k v_o^2 \cos \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) \right) + A(\rho_k - \rho_o) q d_k^3 \sin \alpha' + \arctg \left(\frac{h_z}{L_\Gamma} \right) + \\ + A(\rho_k - \rho_o) q d_k^3 \omega_o^2 R_o \sin \alpha - \phi A(\rho_k - \rho_o) q d_k^3 \cos \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) \right) - \\ - B \rho_o v_o^2 d_k^2 \sin \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) - \phi A(\rho_k - \rho_o) d_k^3 \omega_o^2 R_o \cos \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) \right) \right) \\ m_k \frac{dv_y}{dt} = B \rho_o v_o^2 d_k^2 \cos \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) \right) + \rho_o a_k b_k v_o^2 \sin \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) \right) - \\ - A(\rho_k - \rho_o) d_k^2 q \cos \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) \right) - A(\rho_k - \rho_o) d_k^3 \omega_o^2 R_o \cos \left(\alpha' + \arctg \left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma} \right) \right). \end{cases} \quad (11)$$

Сделав соответствующие преобразования, получим

$$\begin{cases} v_x = \phi_1 t \\ v_y = \phi_2 t + \sqrt{2hq} \end{cases}, \quad (12)$$

$$\text{где } \phi_1 = \frac{(v_o^2 \rho_o (a_k b_k \cos \theta - B d_k^2 \sin \theta) + q(\sin \theta - \phi \cos \theta)) + \omega_o^2 R_o (\sin \theta - \phi \cos \theta)}{A(\rho_k - \rho_o) d_k^3}, \quad (13)$$

$$\phi_2 = \frac{\rho_o v_o^2 (B d_k^2 \cos \theta + a_k b_k \sin \theta)}{A(\rho_k - \rho_o) d_k^3} - \cos \theta (q + \omega_o^2 R_o). \quad (14)$$

Обозначим $m_k = A(\rho_k - \rho_\sigma)D^3$ и $\theta = \left(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right) \right)$.

Тогда скорость перемещения корнеклубнеплодов v_k , на участке l_1, l_2 , и др. вдоль оси барабана корнеклубнемойки будет равна

$$v_k = \sqrt{\varphi_1^2 t^2 + \varphi_2 t (\varphi_2 t + 2\sqrt{2hq}) + 2hq}. \quad (15)$$

После преобразований окончательно определим v_k по формуле

$$\begin{aligned} v_k = & \left(\frac{1}{A(\rho_k - \rho_\sigma)d_k^3} (v_\sigma^2 \rho_\sigma (a_k b_k \cos(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) - Bd_k^2 \sin(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right))) + \right. \\ & + q(\sin(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) - \varphi \cos(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) + \omega_\sigma R_\sigma \sin(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) + \\ & + \frac{(\rho_\sigma v_\sigma^2 (Bd_k^2 \cos(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) + a_k b_k \sin(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)))}{A(\rho_k - \rho_\sigma)d_k^3} - \cos(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) (q + \omega_\sigma^2 R_\sigma)^2 t^2 + \\ & + \sqrt{2t\sqrt{hq} \left(\frac{2\rho_\sigma v_\sigma^2 (Bd_k^2 \cos(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) + a_k b_k \sin(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)))}{A(\rho_k - \rho_\sigma)d_k^3} \right)} \\ & \left. - \sqrt{\cos(\alpha' + \arctg\left(\frac{h_\Gamma}{L_\Gamma}\right)) (q + \omega_\sigma^2 R_\sigma) \sqrt{2hq}} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

Данное выражение позволяет определить математическую модель движения корнеклубнеплодов вдоль внутренней поверхности барабана. Расчетные данные показывают, что v_k находится в пределах 0,08–0,12 м/с.

В четвертой главе «Результаты экспериментального исследования гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки» представлены результаты исследований разработанной барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки (рисунок 5).

Большое влияние на производительность и качество мойки оказывают радиус барабана, частота вращения и интенсивность воздействия водяных струй на корнеклубнеплоды. Теоретические зависимости показывают, что при частоте вращения барабана $20 < n < 60$ мин⁻¹ минимальный радиус барабана $\geq 0,1$ м ограничен невозможностью обработки корнеклубнеплодов крупнее 200 мм, а максимальный радиус $\leq 0,35$ м – опасностью повышенного повреждения корнеклубнеплодов.

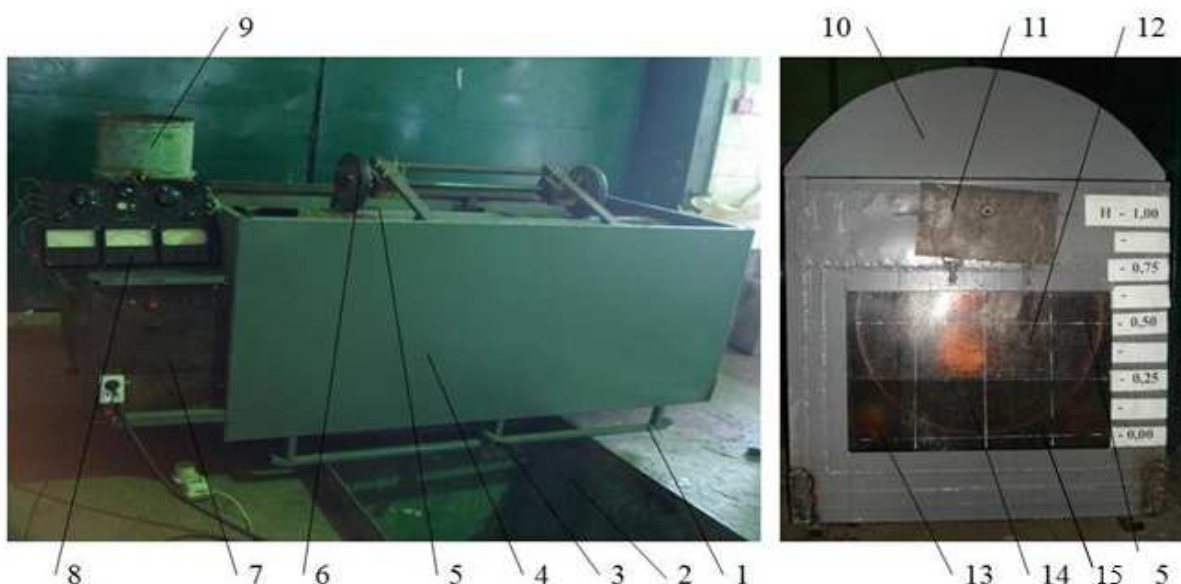


Рисунок 5 – Общий вид гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки

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

Исследования экспериментальной корнеклубнемойки проводили при коэффициенте заполнения барабана φ равным 0,1–0,4 с исходной загрязненностью от 3 до 10 % с различными корнеклубнеплодами, в т.ч. картофель, морковь, свекла

Результаты исследований (рисунок 6 а), показывают, что производительность Q корнеклубнемойки у экспериментальной мойки

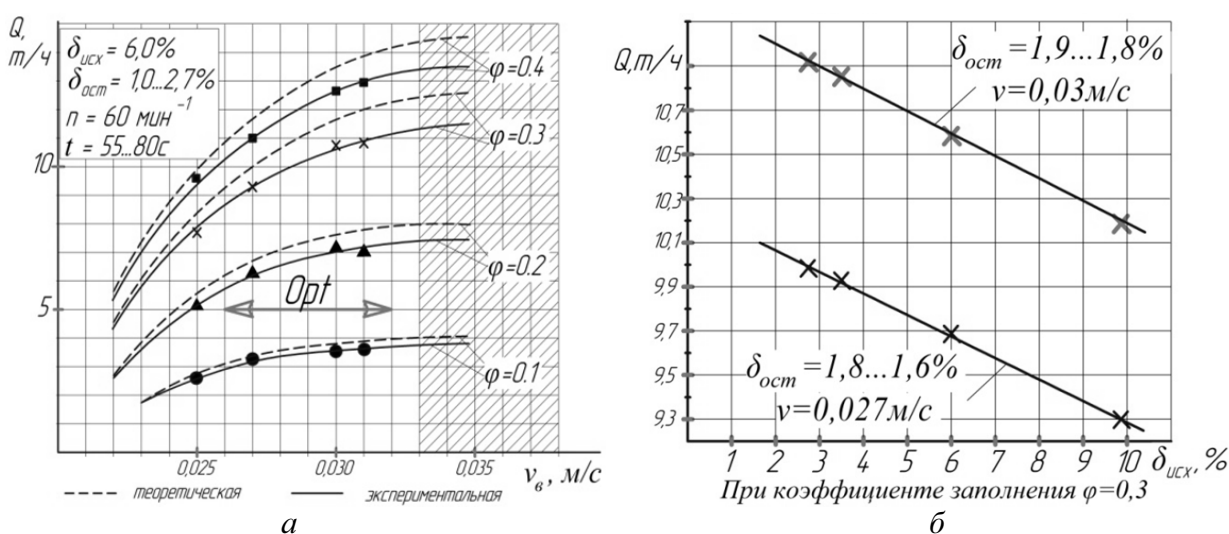


Рисунок 6 – Графики зависимости производительности Q барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки в процессе мойки сахарной свеклы:

а – от скорости v_b перемещения в барабане; б – от $\delta_{\text{исх}}$ исходной загрязненности

возрастает с ростом скорости воды v_B при перемещении сахарной свёклы по внутренней поверхности барабана и падает (рисунок 6 б) с ростом исходной загрязнённости $\delta_{исх}$ при коэффициенте заполнения барабана φ от 0,1 до 0,4. Качество мойки $\delta_{ост}$ корнеклубнеплодов (рисунок 7 а) при постоянных $\delta_{исх}$, n , φ возрастает с ростом количества ковшей $Z_{ков}$ на барабане и интенсивности воздействия водяных струй Ω на тонну продукта с влажностью загрязнителя 17,1 %. Его изменение выражается полиномом 2-го порядка. Значение зависимости 1 для $Q_1 = 15$ т/ч запишется в виде $\delta_{1ост} = 0,0013Z_{ков}^2 - 0,1268Z_{ков} + 4,0$.

Среднеквадратическое отклонение ошибки $R_1^2 = 0,9945$.

Для зависимости 2 производительность $Q_2 = 10$ т/ч

$$\delta_{2ост} = 0,0104Z_{ков}^2 - 1,0889Z_{ков} + 36,798. \text{ При } R_2^2 = 0,958.$$

Для зависимости 3 $Q_3 = 5$ т/ч

$$\delta_{3ост} = 0,0012Z_{ков}^2 - 0,0954Z_{ков} + 2,2388. \text{ При } R_3^2 = 0,9998.$$

Выведенные аналитические зависимости $\delta_{ост}$ от $Z_{ков}$ позволяют определить режим работы экспериментальной корнеклубнемойки.

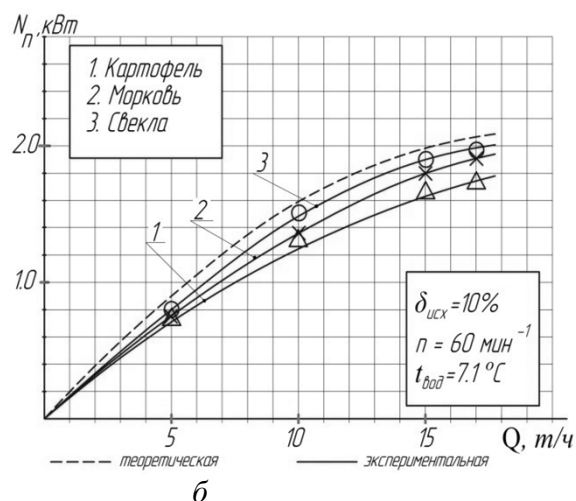
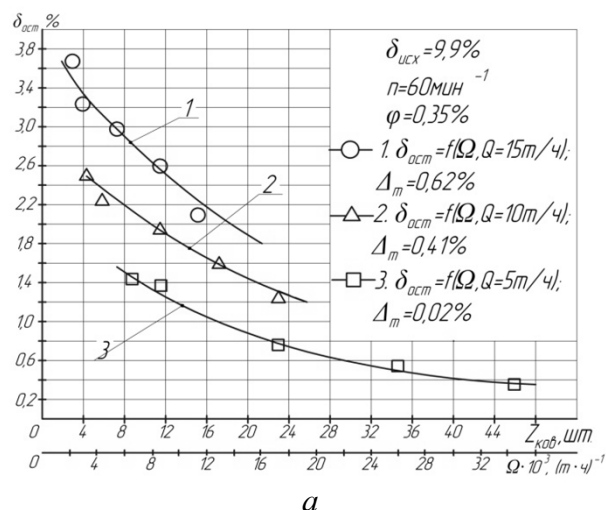


Рисунок 7 – Графики зависимости: а – качества мойки $\delta_{ост}$ от числа ковшей и воздействий водяных струй Ω на тонну продукта с повреждаемостью корнеклубнеплодов $\geq 0,02$ %; б – потребляемой мощности от производительности барабанной гидротурбинной корнеклубнемойки

Оценка сходимости теоретических и полученных экспериментальных данных (рисунок 7 а, б) показала расхождение не более 5 %.

В пятой главе «Результаты производственных испытаний и технико-экономическая оценка работы гидротурбинной барабанной корнеклубнемойки» представлена экономическая эффективность использования экспериментальной корнеклубнемойки. При этом остаточная загрязненность у корнеклубнеплодов достигает 1,7–2,7 % при частоте вращения 60 мин⁻¹. В сравнении с щеточно-барабанной корнеклубнемойкой ИП «Кагуй» Ростова-на-Дону у экспериментальной производительность выше в 2,5–5 раз в зависимости от вида и исходной загрязненности корнеклубнеплодов, удельный расход воды на тонну обрабатываемого продукта снижается в 2,5 раза, затраты труда меньше на 0,23 чел·ч/т. Срок окупаемости экспериментальной корнеклубнемойки составляет 0,1 года. Экономия от условно полученной животноводческой продукции, например, молока с 1 тонны корнеплодов составит 25,29 руб/т.

Годовой экономический эффект для ЗАО «Агрофирма «Волга» при подготовке корнеклубнеплодов на молочно-товарной ферме с поголовьем 3000 голов составит 417,325 тыс. руб. в ценах 2013 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ способов и средств разработанной классификации корнеклубнемоющих 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 нахо-

дится 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 ИП «Кагуй» 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.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Овчинников, А.А.** Классификация способов и средств очистки корнеклубнеплодов / В.А. Мухин, А.С. Романов, А.А. Овчинников // Научное обозрение.- 2012. – № 2. – С. 273 – 280 (0,7 п.л./ авт. 0,25).

2. **Овчинников, А.А.** Установка для мойки корнеплодов / А.А. Овчинников // Техника в сельском хозяйстве.- 2013.– № 4.–С. 9 (0,3 п.л.).

3. **Овчинников, А.А.** Производительность и потребляемая теплота при мойке корнеклубнеплодов в гидротурбинной корнеклубнемойке / В.А. Мухин, А.А. Овчинников // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 11. – С. 36 – 38 (0,33 п.л./ авт. 0,2).

Патенты

4. **Пат. № 70086** Российская Федерация, МПК А23N 15/00 (2006.01).

Гидротурбинная корнеклубнемойка [Текст] / Овчинников А. А., Кузнецов В. А., Овчинников А. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (RU).– № 2007130965/22; заявл. 13.02.2007; опубл. 20.01.2008. Бюл. № 2.

5. Пат. № 87151 Российская Федерация, МПК В65G 47/34 (2006.01). Сбрасыватель кусковых материалов с внутренней вращающейся цилиндрической поверхности [Текст] / Овчинников А. А., Дмитриев В. Ф., Овчинников А. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (RU).– №2009120877/22; заявл. 01.06.2009; опубл. 27.09.2009. Бюл. № 27.

6. Пат. № 114146 Российская Федерация, МПК G01B 3/16 (2006.01). Многофункциональный прибор для замера параметров корнеплодов [Текст] / Овчинников А. А., Мухин В.А., Овчинников А. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (RU). – № 2010153649/28; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.03.2012. Бюл. № 7.

7. Пат. № 117609 Российская Федерация, МПК G01B3/00 (2006.01). Прибор определения коэффициентов трения корнеклубнеплодов в жидкости [Текст] / Овчинников А. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (RU). – № 2011139409/28; заявл. 27.09.2011; опубл. 27.06.2012.

В других изданиях

8. Овчинников, А.А. Устройство и методика исследования гидротурбинной корнеклубнемойки / Кузнецов В.А., Овчинников А.А. // Молодые ученые агропромышленному комплексу Поволжского региона:

Саратов.- сб. науч. работ ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. – № 4. – С. 82 – 85 (0,3 п.л./ авт. 0,2).

9. **Овчинников, А.А.** Экспериментальная установка и методика ее исследования / Дмитриев В.Ф., Овчинников А.А. // Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию профессора В.Ф. Дубинина.- Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»: Изд-во «КУБиК», 2010. – С. 56 – 59 (0,2 п.л./ авт. 0,15).

10. **Овчинников, А.А.** Методика и результаты исследования физико-механических свойств корнеклубнеплодов / В.А. Мухин, А.А. Овчинников // Научное обозрение.- 2011. – № 1. – С. 13 – 16 (0,5 п.л./ авт. 0,25).

11. **Овчинников, А.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 Кобы В.Г. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»: Изд-во «КУБиК», 2011. – С. 120 – 122 (0,5 п.л./ авт. 0,25).

12. **Овчинников, А.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 Рыбалко А.Г. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»: Изд-во «КУБиК», 2011. – С. 91 – 94 (0,2 п.л./ авт. 0,1).

13. **Овчинников, А.А.** Теоретическое обоснование параметров корнеклубнемойки / А.А. Овчинников // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы: сб. статей VI Всерос. науч. -практ. конф. – Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»: Изд-во «КУБиК», 2012. – Ч. 2. – С. 115 – 119 (0,3 п.л.).

14. **Овчинников, А.А.** Исследование процесса мойки корнеклубнеплодов в водяном потоке / А.А. Овчинников // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы Междунар. науч. -техн. семинара имени В.В. Михайлова.–Саратов:

ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» Изд-во «КУБиК», 2012.–№ 25.–С.202–205 (0,21 п.л.).

15. **Овчинников, А.А.** Теоретические предпосылки рабочего процесса гидротурбинной корнеклубнемоющей / А.А. Овчинников // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы: сб. статей VII Всерос. науч. - практ. конф./ Под ред. И.Л. Воротникова.–Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2013. – С. 85 – 87 (0,2 п.л.).

16. **Овчинников А.А.** Математическая модель движения корнеклубнеплодов в барабане гидротурбинной корнеклубнемоющей / В.А. Мухин, А.Ю. Харитонов, А.А. Овчинников // Материалы научно – технического семинара имени В.В. Михайлова.- Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», Буква 2014.- С. 112 – 118 (0,4 п.л./ авт. 0,2).