

*На правах рукописи*



**Анохин Сергей Александрович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОЙКИ  
И ДЕЗИНФЕКЦИИ ЕМКОСТЕЙ СБОРА,  
ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ МОЛОКА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискании ученой степени  
кандидата технических наук

Мичуринск-наукоград РФ  
2022

Работа выполнена на кафедре «Механика и инженерная графика» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»).

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент  
**Никитин Дмитрий Вячеславович**

**Официальные оппоненты:** **Кузина Жанна Ивановна**, доктор технических наук, ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», лаборатория санитарной обработки оборудования, главный научный сотрудник  
**Матвеев Владимир Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», кафедра «Технический сервис», доцент

**Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Защита диссертации состоится 28 апреля 2022 года в 13-30 на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545) 3-88-13, доб. 3-82, E-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» и на сайте [www.mgau.ru](http://www.mgau.ru), с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации [www.vak.ed.gov.ru](http://www.vak.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент



Михеев Николай Владимирович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Одним из приоритетных направлений совершенствования технологии и технических средств мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока является снижение расхода воды и моющего реагента, а также снижение химического воздействия моющего и дезинфицирующих реагентов при обеспечении требуемого количества и качества молока.

Согласно прогнозу долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, разработанному Минэкономразвития России, современное состояние водных ресурсов, утилизации химических веществ определяет политику экономии ресурсов. Мойка и дезинфекция поверхностей оборудования, напрямую соприкасающихся с молоком, в агропромышленных процессах сбора, хранения и транспортирования являются одними из основных источников ресурсопотребления воды, моющих и дезинфицирующих реагентов.

Использование комбинированной моечной установки позволяет решить задачу снижения затрат ресурсов, что особенно актуально для небольших фермерских животноводческих хозяйств.

Исследования по теме диссертации выполнены в соответствии со Стратегией машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года, Стратегией развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года и Указа Президента России В.В. Путина от 21 июня 2016 года № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технологической политики в интересах развития сельского хозяйства».

### **Степень разработанности темы.**

В настоящее время накоплено большое количество теоретического и экспериментального материала по исследованию процессов мойки и дезинфекции поверхностей, которые успешно используются при разработке новых конструкций моечных и дезинфицирующих систем. Дальнейшее совершенствование технологий мойки и дезинфекции возможно путем создания более эффективных технических средств мойки и дезинфекции, позволяющих снизить ресурсо- и энергозатраты.

Научной основой изучения процессов мойки и дезинфекции явились фундаментальные работы отечественных авторов П.А. Ребиндер, Н.Н. Петрова, Е.К. Венстрем, А.Б. Таубман, Н.Н. Серб-Сербина а также зарубежных – Plateau, MacBain, Fischer, Zsigmondy и других.

В изучение эффективности моющих и дезинфицирующих средств в области производства молока и молочных продуктов существенный вклад внесли В.М. Ульянов, В.Ф. Ужик, Ю.А. Цой, Л.М. Цой, А.И. Завражнов, Ж.И. Кузина, В.Ю. Матвеев, В.В. Кирсанов, В.В. Молочников и другие.

Существенный вклад в изучение вакуумных и акустических технологий в области мойки и дезинфекции внесли зарубежные ученые Dinesh P.R. Thanu, Mingrui Zhao, Zhenxing Han, Manish Keswani, D.W. Cooper, C. Leonelli, T.J. Mason, D.R. Morris, R.W. Elliot, F.J. Fuchs и других ученых и специалистов.

Однако известные теоретические и экспериментальные исследования недостаточно учитывают возможности и перспективы применения технологий ультрамалого объема распыления моющего средства и озонации при мойке и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока, их изучение нуждается в дополнительных исследованиях.

**Цель исследования:** повышение эффективности мойки и дезинфекции емкостей сбора, хранения и транспортирования молока.

**Задачи исследования:**

- провести анализ технологий и средств мойки и дезинфекции оборудования при производстве сырого молока;
- теоретически и экспериментально обосновать параметры и режимы мойки и дезинфекции при использовании ультрамалого объема реагента;
- разработать методику расчета мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока с применением системы распыления ультрамалого объема моющего и дезинфицирующего средства и системы озонирования;
- исследовать физико-химические свойства частиц мелкодисперсной среды моющих и дезинфицирующих средств;
- разработать и обосновать конструктивно-технологические схемы экспериментальной и производственной установки мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей ультрамалым объемом распыления растворов и определить экономическую эффективность результатов исследования.

**Объект исследования:** технологический процесс мойки и дезинфекции внутренних поверхностей бидонов, доильных ведер, фляг от механических, химических и бактериологических загрязнений.

**Предмет исследования:** закономерности влияния объема моющего и дезинфицирующего средства и озонации на продолжительность, эффективность и качество мойки и дезинфекции поверхностей от остатков молока, его компонентов и патогенных микроорганизмов.

**Научная новизна работы:**

- установлены закономерности создания эффективных систем мойки и дезинфекции молочного оборудования способом распыления ультрамалого объема реагентов;
- экспериментально доказана целесообразность применения ультрамалого объема моющего средства, позволяющего снизить ресурсо- и энергозатраты мойки, и эффективность озонации, интенсифицирующая дезинфекцию внутреннего замкнутого пространства емкостей;
- разработаны конструктивно-технологические схемы моечных установок: экспериментальной и комбинированной с применением систем распыления ультрамалого объема моющего и дезинфицирующего средства, озонации и вакуумного транспортирования отработанных жидкостей. Техническая новизна подтверждена патентом РФ № 2728147.

**Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретические зависимости эффективности мойки и дезинфекции от объема реагента, а также способа его нанесения на поверхность, полученные в ходе

исследований, позволяют обосновать параметры процессов для внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока.

Практическая значимость работы заключается в создании технических средств мойки внутренних поверхностей ультрамалым объемом реагента, с применением озонации.

Совершенствование технических средств и методов мойки и дезинфекции в производстве молока малыми фермерскими хозяйствами позволяет повысить качество молока, его товарную стоимость. Совершенствование технологии и конструкции мойки позволяет экономить трудозатраты, сокращать ресурсо- и энергозатраты.

Практические результаты диссертационного исследования приняты и внедрены на предприятия ООО «АГРО-АЛЬЯНС», Колхоз - Племенной завод им. Ленина, в образовательной организации ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования основаны на теории диффузии и броуновского движения, физико-химических свойствах аэрозолей, известных законов физики, термодинамики, газогидродинамики. Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с общеизвестными методиками отбора проб, определения размеров и весовой концентрации частиц молока и аэрозолей, и разработанными на их основе частными. Лабораторные и производственные исследования проводились с использованием современных электронных и механических приборов и установок методами хронометражных наблюдений и измерений. Обработка экспериментальных данных проводилась методом математической статистики с использованием программ для работы с электронными таблицами Microsoft Excel, пакетом для математического анализа Mathcad 14, языком программирования Python.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- результаты теоретических исследований закономерностей создания эффективных систем мойки и дезинфекции молочного оборудования способом распыления ультрамалого объема реагентов;
- конструктивно-технологическая схема экспериментальной моечно-дезинфицирующей установки с применением ультрамалого распыления моющего раствора и озонирования;
- конструкция комбинированной моечной и дезинфицирующей установки;
- усовершенствованная методика расчета процесса мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока;
- результаты экспериментальных исследований по обоснованию параметров технологических процессов мойки и дезинфекции оборудования для сбора, хранения и транспортирования молока;
- технико-экономическая оценка результатов исследований.

**Степень достоверности и апробации работы.**

Степень достоверности полученных результатов и выводов подтверждается выполненными экспериментами, использованием общепринятых методик, ГОСТов, приборов и оборудования, совпадением результатов, полученных

теоретическими и экспериментальными исследованиями, а также с результатами других авторов, занимающихся данной тематикой, внедрением полученных результатов в производство.

Результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены:

– на научно-технических семинарах кафедр «Механика и инженерная графика» и «Агроинженерия» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»;

– на всероссийской научно-практической конференции Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации (2017 г., г. Тамбов).

– на международных научно-практических конференциях и научно-технических семинарах: Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт (15-16 июня 2017 г., г. Тамбов); Интеграционные процессы в науке в современных условиях (3 декабря 2017 г., Казань); Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства (22-23 мая 2018 г., г. Москва); Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья (24-25 мая 2019 г., г. Тамбов); Цифровизация агропромышленного комплекса (21-22 октября 2020 г., г. Тамбов); Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса (26-28 февраля 2020 г., г. Ростов-на-Дону); Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации (20 апреля 2021 г., г. Рязань).

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственное участие на каждом этапе исследования, включая: анализ литературных источников; постановку задач; разработку программы исследований; сбор и обработку данных; проведение экспериментов и испытаний; проектирование установок; составление заявок на патенты; апробацию результатов исследования на международных и всероссийских научно-практических конференциях 2017 – 2021 годах; подготовке публикаций.

**Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности.** Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства, п. 2 – разработка теории и методов технологического воздействия на среду и объекты сельскохозяйственного производства и п. 7 – разработка методов оптимизации конструктивных параметров и режимов работы технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве по критериям эффективности и ресурсосбережения технологических процессов.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе: 3 статьи – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ; два патента на изобретение. Общий объем публикаций составляет 2,75 п.л., из них автору принадлежит 1,8 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы из 144 наименований и 4 приложений. Работа изложена на 165 страницах основного текста, включает 44 рисунка и 22 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выполненной работы, сформулированы цель, задачи, объект и предмет диссертационного исследования, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Анализ технологий мойки и дезинфекции молочного оборудования»** приведен анализ литературных источников по вопросам процессов мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования в условиях сельскохозяйственного производства молока. Анализируются структурный состав молока, его химические и физические свойства. Приведен обзор существующих моющих и дезинфицирующих систем, позволяющий произвести параметрический подбор необходимого технологического оборудования для процессов мойки и дезинфекции, определить основные направления совершенствования их конструкций.

На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи научных исследований.

**Во второй главе «Теоретическое исследование рабочего процесса мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока»** приведены теоретические исследования механизма загрязнения поверхностей компонентами молока, его адгезионные свойства при различных режимах давления и температуры, взаимодействие с поверхностно-активными веществами (ПАВ), механизм отмыывания жирового загрязнения на плоской поверхности.

Механизм оседания твердых частиц на поверхностях оборудования основывается на силах Ван-дер-Ваальса, когда частицы находятся в жидкой фазе. В пограничном слое к указанной силе добавляется электростатическое воздействие поверхности, выраженное через электростатический потенциал. После оседания частицы на поверхности проявляются ее адгезионные свойства с материалом поверхности.

Проблема адгезии загрязнения поверхности и последующий процесс ее мойки объединяется с другими проблемами технического характера: смачивание и склеивание. Процесс удаления загрязнений со стенок емкостей состоит из двух этапов: 1) набухание и пептизация; 2) сдвиг пленки.

Энергия распыления раствора затрачивается на образование новой поверхности капли и преодоление сил вязкости при изменении формы. Кроме того, могут происходить потеря энергии в результате неэффективной ее передачи жидкости. Необходимая для образования капли радиусом  $r$  энергия определяется из следующего соотношения, Дж:

$$E = \frac{300 \cdot \gamma \cdot m}{r \cdot \rho}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, г/см<sup>3</sup>;  $m$  – масса жидкости, г;  $r$  – радиус капли, см;  $\gamma$  – поверхностное натяжение, Н/см.

Минимальную энергию рассеивания для капли заданного радиуса можно рассчитать по формуле, Дж:

$$E = \frac{8 \cdot \eta \cdot d_1^2 \cdot V_n}{3 \cdot \pi \cdot d_2^2 \cdot L} \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры начала и конца конической переходной области, см;  $L$  – длина переходной области, см;  $V_n$  – объемная скорость жидкости, см<sup>3</sup>/с;  $\eta$  – вязкость, г/(см · с).

Ультразвуковой способ генерации тумана характеризуется воздействием на поверхность жидкости сфокусированной энергии вогнутого рефлектора (излучателя) мощных ультразвуковых волн. При достаточно высокой интенсивности в фокальной области образуются над поверхностью струя жидкости, а у ее основания туман высокой концентрации. Концентрация и равномерность распределения тумана по заданному объему выше при малой высоте струи, что согласуется с минимизацией потерь энергии (данное обстоятельство было подтверждено в ходе проведенных экспериментов). Образующиеся капли жидкости имеют определенных размером рефлектора диапазон радиусов. По Мак-Кабину, дисперсный состав генерируемого тумана имеет преимущественно капли диаметром 0,04-0,05 мкм.

Регулирование концентрации тумана осуществляется путем изменения акустической мощности излучателя, а также с помощью скорости газа над поверхностью жидкости. Форма капель тумана сферическая. При слиянии данных капель также образуется сферическая капля большего радиуса. В связи с чем, основным размерным параметром капли являются радиус или диаметр капли.

Согласно теории Ланга, средний диаметр капель может быть рассчитан по следующей зависимости:

$$d = 0.34 \cdot \sqrt[3]{\frac{8 \cdot \pi \cdot \gamma}{\rho \cdot v^2}}, \quad (3)$$

где  $v$  – частота ультразвуковых колебаний, Гц.

Движение капель тумана в воздушной среде аналогично движению молекул газа и подчинены общим принципам теории диффузии и броуновскому движению. Среднее смещение частиц вдоль оси  $x$  может быть определено как:

$$\overline{\Delta_x^2} = 2 \cdot D \cdot t, \quad (4)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии, см<sup>2</sup>/с;  $t$  – время, с.

Осаждение частиц также сопровождается ударом о поверхность и связывание с ней. Для данных процессов введен соответствующий термин броуновская диффузия аэрозолей. Термин подразумевает перенос частиц из областей с большей концентрацией в области с меньшей.

Совместное оседания и диффузии для случая тумана в неподвижном воздухе емкости (между ее поверхностями) обусловлено предположением, что все капли, приходящиеся в соприкосновение с поверхностью, прилипают к ней. Общее уравнение, описывающее скорость увеличения концентрации капель в некоторой точке:

$$\frac{\partial C}{\partial T} = l \cdot D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - V \cdot \frac{\partial C}{\partial X}, \quad (5)$$

где  $C$  – концентрация капель на расстоянии  $X$  от нижней плоскости, г/см<sup>3</sup>;  $T$  – время, с;  $D$  – коэффициент диффузии капель, см<sup>2</sup>/с;  $V$  – стационарная скорость оседания капель, см/с;  $l$  – расстояние между поверхностями, см.



Осаждение капель на поверхность емкости в немалой степени зависит от ее свойств: смачиваемости и шероховатости. Смачиваемость определяется в большей степени материалом поверхности, ее гидрофильности, шероховатость – способом ее обработки. В связи с тем, что основной компонент молока, моющего и дезинфицирующего раствора является вода, то загрязняемость и очищаемость поверхности в равной степени зависят от данных параметров.

Повышение угла смачиваемости достигается путем подбора концентрации ПАВ в растворе в существующих конструкциях моек поверхностей. В большей степени регулирование смачиваемости происходит в рамках физико-химических процессах.

Для шероховатости поверхности, на основании вышеизложенного становится допустимо следующее неравенство:

$$d_k \leq Ra \leq d_{жс(\bar{\sigma})}, \quad (6)$$

где  $d_k$  – средний диаметр капли, мкм;  $Ra$  – средняя шероховатость, мкм;  $d_{жс(\bar{\sigma})}$  – средний диаметр частицы жира (белка), мкм.

Это неравенство обусловлено тем, что частицам жира (белка) с большим радиусом, чем размеры впадин шероховатости, труднее прилипнуть к поверхности в виду наличия собственного поверхностного натяжения. В результате, под частицей жира (белка) формируется пространство, которое при достаточно малых размерах капли, заполняется моющим раствором, с последующим отмыванием. В связи с чем, целесообразно, чтобы частица капли была меньше размеров шероховатости. В результате справедливо следующее неравенство, определяющее параметры шероховатости поверхности при обработке туманом, сгенерированным ультразвуком:

$$Ra \geq 0.34 \cdot \sqrt[3]{\frac{8 \cdot \pi \cdot \gamma}{\rho \cdot v^2}}, \quad (7)$$

Исходя из неравенства, определяются характеристики ультразвукового туманогенератора в соответствии с применяемым моющим и дезинфицирующим раствором. Процесс дезинфекции характеризуется доставкой дезинфектанта до клетки (споры) микробиоты, в связи с чем достаточно иметь приближенное равенство указанного соотношения.

Эффективность дезинфекции можно оценить:

$$K = \frac{1}{t} \cdot \log \frac{N_0}{N}, \quad (8)$$

где  $K$  – константа скорости гибели клеток, мин.<sup>-1</sup>;  $N_0$  – начальное число живых клеток, шт.;  $N$  – число живых клеток, шт., в момент времени  $t$ , мин.

Взаимосвязь концентрации биоцида  $C$ , г/см<sup>3</sup>, и экспозиции  $t$  выражается:

$$\ln N - \ln N_0 = -k \cdot C^\theta \cdot t, \quad (10)$$

где  $k$  – константа для определенного микроорганизма и биоцида при определенных значениях рН и температуре, см<sup>3</sup>/г·мин;  $\theta$  – коэффициент разбавления биоцида;  $t$  – время, необходимое для снижения микробной контаминации на 99%, мин.

На основании проведенного теоретического анализа была разработана методика расчета параметров процессов мойки и дезинфекции распылением ультрамалого объема раствора ультразвуковым генератором (рисунок 1), а также общая технология мойки ультрамалым объемом реагента.

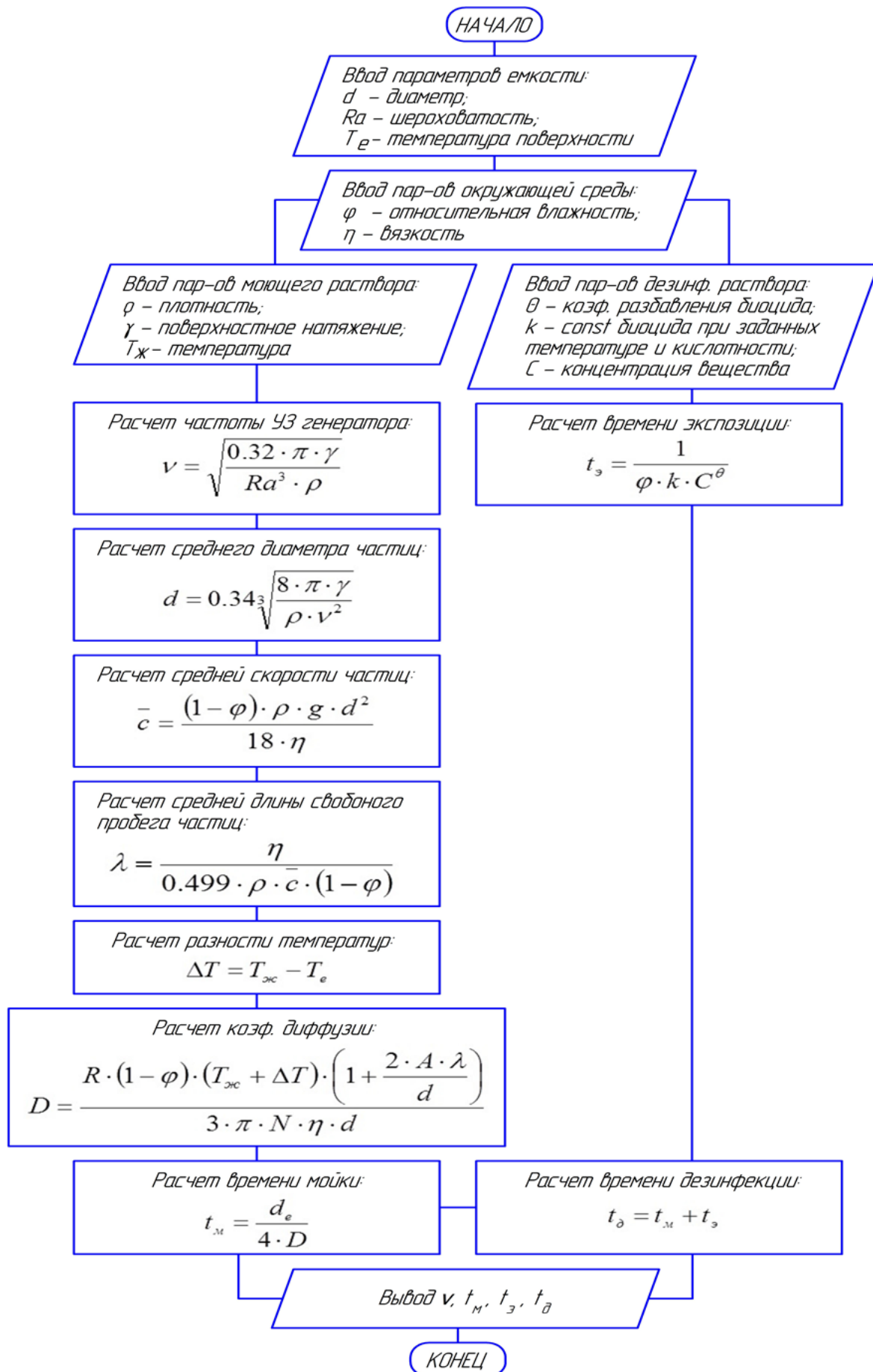


Рисунок 1 – Блок-схема методики расчета параметров распыления ультрамалого объема реагента

В соответствии с предлагаемой методикой разработана технология мойки и дезинфекции с использованием распыления ультрамалого объема раствора (УМО). Технология состоит из следующих этапов:

1. Распыление ультрамалого объема моющего раствора. В ходе данного процесса происходит заполнение объема мелкодисперсной средой, смачивание поверхности, набухание загрязнений, моющее действие реагентов. Время этапа составляет 0,4-4 мин.;

2. Механическое воздействие центробежных механических щеток для удаления сложных загрязнений. Данный этап проводится опционально, при необходимости (например, при достаточно застарелых загрязнениях). Время – 0,5 мин.;

3. Ополаскивание гидромеханической моющей головкой. Время – 0,5 мин.;

4. Дезинфекция. В качестве дезинфектанта применяются озонированная среда (газ или диспергированная УМО озонированная вода или растительное средство). Время экспозиции 2,4-12 мин.;

5. Повторное ополаскивание. Опционально, в зависимости от вида дезинфектанта. Время – 0,5 мин.

Для емкостей с продолжительным простаиванием (3 ч и более) предусмотрено применение этапа дезинфекции без предшествующих этапов.

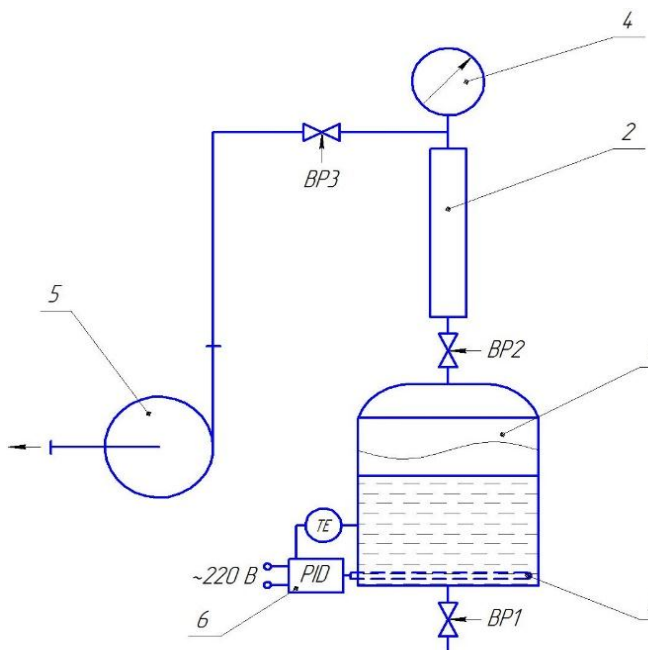
**В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований мойки и дезинфекции емкостей сбора, хранения и транспортирования молока»** приводится описание экспериментов и применяемых установок для определения оптимальных параметров мойки и дезинфекции поверхностей, количества и нагрева моющего раствора, давления, времени воздействия, определения рабочих параметров комбинированной моечной установки. Представлены методики проведения эксперимента и обработки опытных данных.

Экспериментальная лабораторная установка для определения степени загрязнения внутренних поверхностей емкостей состоит из чашек Петри диаметром 50 и 100 мм, набора стеклянных пробирок, стерильных ватных палочек для забора материала, лабораторного шкафа.

Экспериментальная лабораторная установка для определения влияния степени шероховатости и пространственного расположения поверхности на степень ее загрязнения молоком состоит из набора наклонных поверхностей с углами наклона 30°, 45° и 60°, масштабных линеек со шкалой 5 мм, фотоаппарат на штативе, шприц объемом 2,5 мм<sup>3</sup>, электронные весы.

Экспериментальная установка предназначена для многорежимных исследований процессов мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей из различных материалов.

Установка, рисунок 2, содержит парогенератор 1, представляющего собой герметичную емкость с установленным в ней нагревательным элементом 3, погруженный в жидкость и подключенный через ПИД-регулятор 6 к электросети. Емкость имеет два соединения через шаровые клапаны с атмосферой и сменяемым элементом 2. К сменяемому элементу подключается электронный вакуумметр 4 и через шаровой клапан магистрального трубопровода насоса 5.



а) Технологическая схема:

- 1 – парогенератор; 2 – сменный элемент (емкость или часть трубопровода), подвергаемый процессам;  
 3 – нагревательный элемент;  
 4 – вакуумметр; 5 – насос;  
 6 – ПИД-регулятор с термопарой

Рисунок 2 – Экспериментальная установка для процессов мойки и дезинфекции



б) Общий вид:

- 1 – электродвигатель; 2 – насос;  
 3 – парогенератор; 4 – ПИД-регулятор с термопарой; 5 – сменяемая емкость;  
 6 – электронный вакуумметр; 7 – аналоговый вакуумметр; 8 – магистральный трубопровод; 9 – ТЭН

Экспериментальная установка предназначена для многорежимного исследования степени бактериологического обеззараживания внутренних поверхностей емкостей. Установка, рисунок 3, состоит из трех алюминиевых емкостей, соединенных последовательно системой гибких шлангов и трубопроводов. В емкости 1 установлен озонатор, в емкости 2 – нагревательный элемент с ПИД-регулятором, а также ультразвуковой генератор для создания распыления ультрамалого объема жидкости, в емкости 3 – вакуумметр. Для создания вакуума установка подключалась к насосу. Управление установкой осуществлялось в ручном и автоматическом режимах (система автоматизации 4). На основании проведенных экспериментов были определены оптимальные параметры комплексной моечной установки. Диапазон частот ультразвукового генератора составлял 20 кГц-1 МГц, концентрация озона для воздуха 1,5-4 мг/м<sup>3</sup>, для озонированной воды – 10-16 мг/м<sup>3</sup>, время обработки ультрамалым объемом моющего раствора – 2,5-4 мин., время дезинфекции – 4-12 мин. Для емкостей объемом до 20 л потребляемая мощность составляет от 24 до 300 Вт.

В результате проведенных исследований и технологической схемы комбинированной моечной установки была разработана конструкция полупромышленной комплексной моечной установки, рисунок 4.

Комбинированная моечная установка предназначена для осуществления процессов мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей различных профилей. Перечень отмываемых загрязнений установкой ограничивается

температурными режимами эксплуатации моющих и дезинфицирующих средств (20-60°C), габаритами емкостей сбора, хранения и транспортирования молока, допустимыми высоким и пониженным давлением оборудования.



а  
б  
Рисунок 3 – Экспериментальная установка исследования бактериологического обеззараживания (обсеменения):  
а) Общий вид; б) Рабочий процесс

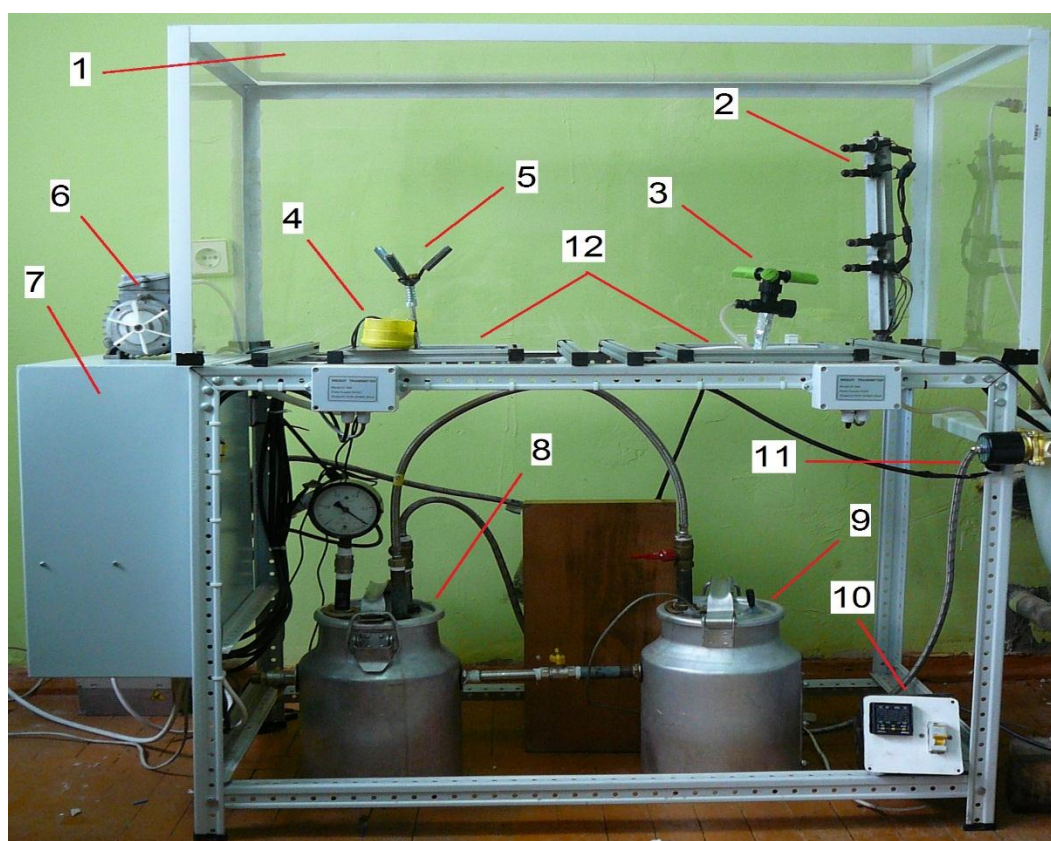


Рисунок 4 – Образец комплексной моечной установки:  
1 – защитный экран; 2 – форсунки для внешней мойки емкостей;  
3 – многопозиционная моющая головка; 4 – ультразвуковой туманогенератор;  
5 – щетки; 6 – электродвигатель; 7 – шкаф автоматики; 8 – емкость подготовки моющего (дезинфицирующего) раствора; 9 – емкость озонатора;  
10 – терморегулятор; 11 – система слива; 12 – вращательные элементы

Работа установки заключается в последовательной обработке емкостей путем создания мелкодисперсной среды на этапе подготовки с возможностью механической очистки (левая часть), последующей очистки и ополаскиванием гидродинамическим способом на этапе основной мойки (правая часть) и созданием дезинфицирующей среды в емкости на завершающем этапе для стерилизации (также в левой части).

Ультразвуковой генератор располагается в углублении корпуса, определенной минимальным и максимальным уровнем жидкости над рефлектором или фокусирующим излучателем генератора, работающего в диапазоне частот 20-800 кГц. При этом уровень жидкости с различными вязкостью и поверхностным натяжением подбирается таким образом, чтобы высота струи была минимальной или отсутствовала, что обеспечивает максимальную концентрацию тумана. Корпус закреплен на подъемном механизме, высота расположения в рабочем состоянии определяется 2/3 высоты емкости, объемом до 300 л, диапазон высот 0-1,2 м. При обработке емкость устанавливается горловиной вниз на вращающийся диск с отверстием для хода корпуса с ультразвуковым генератором, механических центробежных щеток и ополаскивающей головки. Внешняя поверхность емкости, вращаясь на диске, омывается форсунками. Внутренняя поверхность обрабатывается согласно разработанной технологии.

Сбор и отвод отработанных жидкостей осуществляется принудительно с помощью насоса в емкость сбора для последующей утилизации, при этом предусмотрено ее обеззараживание озоном, создаваемого имеющимся в конструкции озонатором.

**В четвертой главе «Экспериментальные исследования процессов мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока»** представлены полученные результаты исследований и дан их анализ.

В таблице 1 представлены результаты экспериментов определения влияния шероховатости поверхности на степень ее загрязняемости ( $R_a$  – шероховатость образцов,  $m_{y\delta}$  – удельная масса загрязнения на пластинах). Качественный показатель загрязняемости определялся по косвенным количественным параметрам остаточной массы продукта на поверхности и скорости протекания продукта по поверхности. В качестве загрязнителя рассматривалось молоко жирностью 2-6%, как наиболее распространенный продукт сельского хозяйства.

Таблица 1 – Сводные данные по массовому загрязнению материалов

Параметры	Значения					
$R_a$ , мкм	0	0,1	0,15	0,2	0,4	0,8
$m_{y\delta}$ , г·10 <sup>-5</sup>	1,23	1,27	2,00	2,22	2,24	2,41

В результате исследования можно сделать следующие выводы: количество загрязнителя (в массовом выражении) растет прямо пропорционально увеличению шероховатости; скорость имеет слабую обратную зависимость от степени шероховатости поверхности; зависимость скорости от шероховатости обратно пропорциональна с изменением пространственного положения поверхности.

Было проведено исследование, целью которого является определение зависимости коэффициента смачиваемости на границе раздела фаз жидкость–поверхность–воздух от температурных режимов жидкости.

По результатам эксперимента был сделан вывод: полимерный материал подвержен меньшей загрязняемости, что характеризуется меньшими затратами моющего реагента в процессе мойки.

Экспериментальное исследование влияния шероховатости поверхностей металлических и полимерных материалов, распространенных в мировой практике сельского хозяйства, на их биологическую активность и локальную коррозию поверхности проводилось по отношению к бактериям, питательной средой которых является молоко. Исследовались стали марок 15 и 20Х13, а также полимерные материалы: полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) и поливинилхлорид (ПВХ). Проводилось измерение возможной неравномерности структуры и свойств пластин из стали по изменению магнитного поля «малым» зондом измерителя магнитной индукции ИМИ–3. При этом неравномерность магнитного поля на всех образцах составляла не более 0,1 Гс, находясь в пределах погрешности измерения.

В ходе экспериментального исследования бактериологического загрязнения емкостей из нержавеющей стали фторосодержащего полимера на поверхности из двух материалов наносилось молоко с процентным содержанием жира 2-6% по всей площади (100 см<sup>2</sup>). После чего производился смыв молока с поверхностей. Пластины помещались на сутки в вентилируемые боксы, предотвращающие от попадания на них механических загрязнений, но позволяющие быть зараженными через атмосферу окружающей среды. Затем с пластин ватными палочками были сделаны смывы и произведен посев в чашки Петри. На рисунке 5 представлены результаты культивирования.

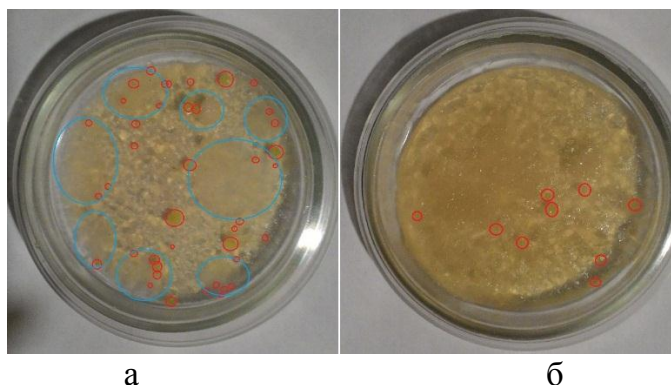


Рисунок 5 – Бактериологическое загрязнение пластин:  
а) Нержавеющая сталь AISI 304; б) Фторопласт-3

Для исследования методов дезинфекции поверхностей был поставлен эксперимент, целью которого является оценка эффективности обеззараживания на разных режимах поверхности сельскохозяйственного оборудования молочных ферм после длительного простаивания без мойки (более 3 ч). В качестве объекта исследования выступал показатель колониобразующих единиц бактерий группы кишечных палочек и стафилококки. Предметом исследования выступали пластины из пищевой нержавеющей стали AISI 316.

Десять пластин с площадью исследуемой поверхности 25 см<sup>2</sup> погружались в молоко, жирностью 4%, с массовой долей белка не менее 2,8%, кислотностью 18°Т, плотностью не менее 1028 кг/м<sup>3</sup> и предварительно загрязненное патогенными бактериями. Затем излишки молока с пластин удалялись самотеком. Пластины оставлялись в помещении, имитирующим цех по сбору и хранению молочного сыря с соответствующей окружающей воздушной средой, на сутки. В результате бактериологически загрязненное молоко на пластине высохло, что позволяло смоделировать процесс простоя оборудования.

Испытания методов и режимов дезинфекции проводилось по однотипному алгоритму для каждой пластины. В алюминиевую флягу, объемом 5 л с вмонтированным электронагревателем (ТЭН 01.102 D13 R30, мощностью 1 кВт), на подставку, изменяющую высоту в пределах 40-150 мм, помещалась пластина, с последующим на нее воздействием заданного метода и режима дезинфицирования. Время воздействия каждого режима составляло 15±0,5 минут. В качестве моющего дезинфицирующего средства применялся водный раствор хлора и каустической соды в пропорциях 3 и 0,5% соответственно.

После обработки пластин соответствующим методом и режимом дезинфекции со всей площади ее поверхности брался смыв алюминиевым стержнем со стерильной ватой. Все образцы смывов передавались для анализа в Испытательный лабораторный центр ФБУ здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Тамбовской области» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека в соответствии с МУК 4.2.2942-11.

Сравнительный анализ метода обработки паром и УМО 65°С показал, что затраты электроэнергии на подогрев и удержание температурных режимов оказались выше для пара, 0,24 против 0,16 кВт. Наибольший расход воды и моющего реагента оказался у метода мойки горячей водой, так как остальные методы либо не использовали данные ресурсы (обработка вакуумом и озоном), либо в силу замкнутости системы расход был минимален (в пределах погрешности, связанной с утечкой газообразной жидкости). Результаты эксперимента представлены в таблице 2. Близкие значения у методов озонирования и обработки ультрамалым объемом моющего раствора с температурными режимами 45 и 55°С, представлены на рисунке 6.

Таблица 2 – Результаты эксперимента дезинфекции

Метод и режим	Результаты	
	БГКП, КОЕ/см <sup>3</sup>	Стафилококки, КОЕ/см <sup>3</sup>
1 Контрольный образец	473	121
2 Вакуумирование	402	93
3 Мойка горячей водой	134	21
4 Озонирование	14	8
5 Пропаривание	не обнаружено	не обнаружено
6 УМО, 35° С	21	13
7 УМО, 45° С	16	4
8 УМО, 55° С	не обнаружено	3
9 УМО, 65° С	не обнаружено	не обнаружено
10 УМО, 75° С	не обнаружено	не обнаружено



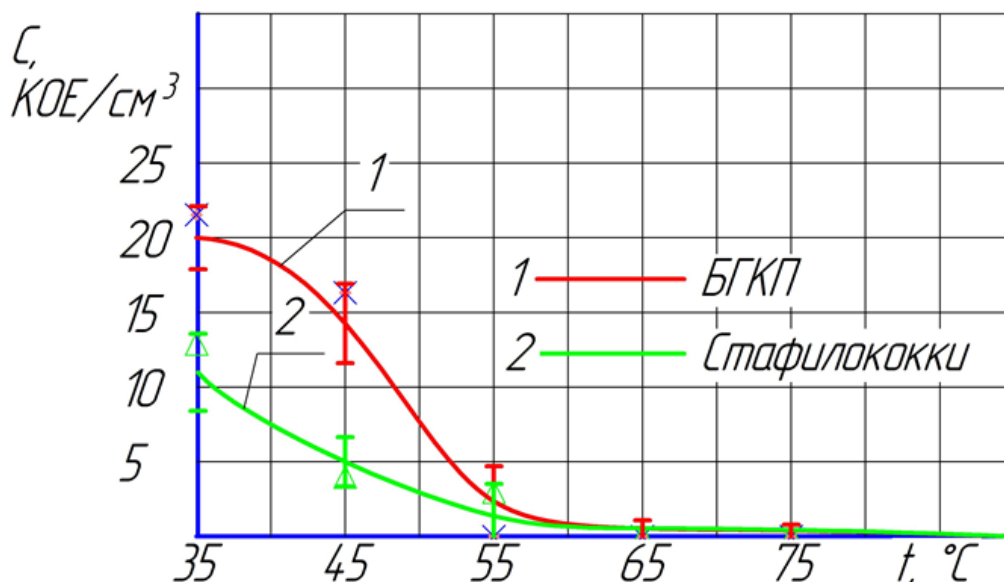


Рисунок 6 – Изменение эффективности метода распыления ультрамалого объема раствора

Эксперимент по определению эффективности рецептур моющих и дезинфицирующих растворов проводился с целью сравнения эффективности рецептур моющих средств для дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока. Ход эксперимента аналогичен предыдущему эксперименту.

Сравнивались рецептуры моющих дезинфицирующих средств: озонированная питьевая вода, барбатированная в течение 5 мин.; 1%-й водный раствор азотистой кислоты; 1%-й водный раствор ортофосфорной кислоты; 1%-й водный раствор щелочи; рецепт моющего средства по Г.Г. Русаковой (Пат. 2127753 РФ Моющее средство); 2,1%-й водный экстракт горчичного порошка; 2,2%-й водный экстракт горчичного порошка; 5,2%-й водный экстракт горчичного порошка.

Водные растворы кислот, щелочи и по рецепту Г.Г. Русаковой изготавливались смешиванием моющих средств с водой в рекомендуемых изготовителями пропорциях и по патенту 2127753 РФ Моющее средство (10%-й водный раствор). Водные экстракты горчицы приготавливались путем вакуумного экстрагирования на установке (патент 2738938 РФ Универсальная вакуумная экстрактно-выпарная установка). Экстрагирование горчичного порошка осуществлялось в гидромодулях 1:12,5; 1:25; 1:50 при вакууме 0,6 кПа и температуре 56°C в течение 40 мин. В результате получились водные экстракты горчицы с содержанием сухих растворенных веществ 2,1, 2,2 и 5,2% (по рефрактометру 1,334; 1,335 и 1,3425). Данные экстракты применялись как готовые моющие средства. Результаты представлены в таблице 3.

Общая степень чистоты проводилась при испытаниях комбинированной моечной установки путем определения удельной электропроводности смывов с внутренней поверхности емкости. Смывы проводились путем взятия мазков с поверхности площадью 25 см<sup>2</sup> при обработке УМО в течение 6 минут с шагом в минуту. Мазки брались стерильными ватными стержнями, после чего взятая

проба помещалась в дистиллированную воду (1 см<sup>3</sup>). Растворенные молочные жиры и белки изменяли начальную электропроводность дистиллированной воды, начальные свойства которой: рН 5,4-6,2, удельная электропроводность  $\sigma = 0,005 \cdot 10^{-4}$  мСм/м.

Таблица 3 – Результаты эксперимента по определению эффективности рецептов моющих и дезинфицирующих растворов

Дезинфицирующее моющее средство	Результаты	
	БГКП, КОЕ/см <sup>3</sup>	Стафилококки, КОЕ/см <sup>3</sup>
1 Контрольный образец	386	134
2 Озонированная среда	276	74
3 Озонированная вода	не обнаружено	не обнаружено
4 Азотистая кислота	не обнаружено	не обнаружено
5 Ортофосфорная кислота	не обнаружено	не обнаружено
6 Щелочь	не обнаружено	не обнаружено
7 Раствор Русаковой	не обнаружено	не обнаружено
8 2,1 % экстракт горчицы	4	не обнаружено
9 2,2 % экстракт горчицы	не обнаружено	не обнаружено
10 5,2 % экстракт горчицы	не обнаружено	не обнаружено

В качестве загрязнителя применялось молоко жирностью 4,8% с удельной электропроводностью  $\sigma = 0,4 \cdot 10^{-4}$  мСм/м. Испытания проводились при температуре окружающей среды 20°C. Результаты испытаний представлены на графике, рисунок 8.

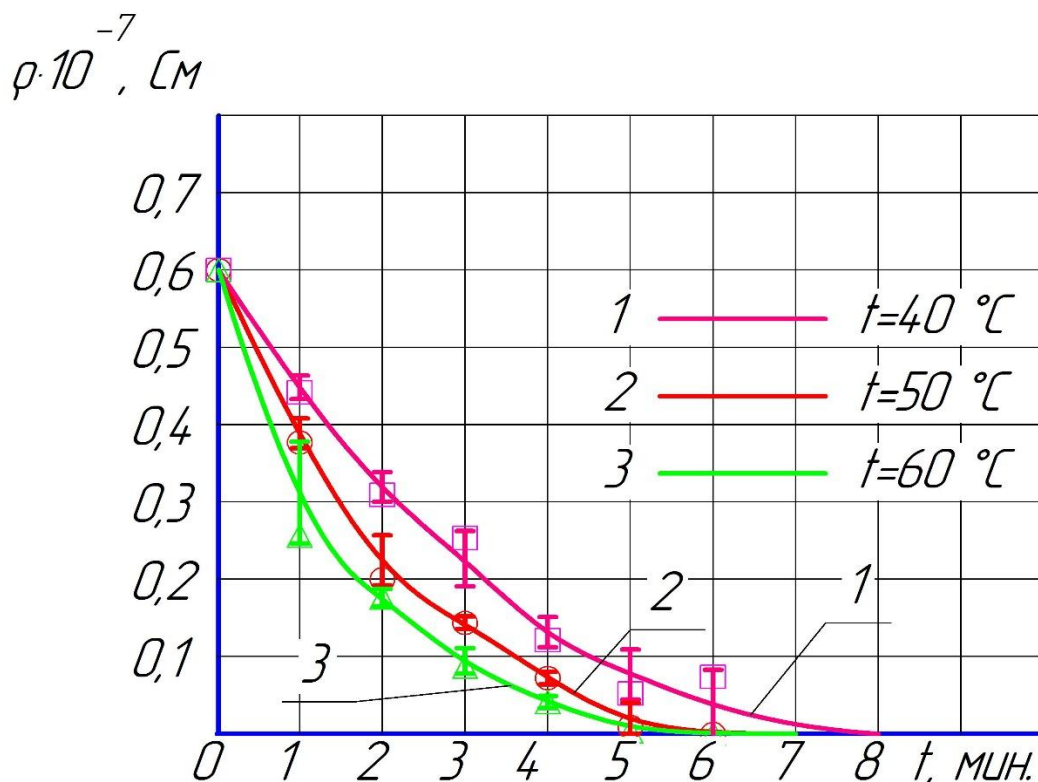


Рисунок 8 – График зависимости удельной электропроводности от времени процесса мойки  $\rho(t)$

**В пятой главе «Технико-экономическое обоснование процессов мойки и дезинфекции поверхностей ультрамалым объемом»** представлен анализ экономической эффективности от внедрения оборудования для реализации поставленной цели, а также предложен качественный оценочный показатель эффективности мойки и дезинфекции.

Разработанная технологическая схема комбинированной моечной установки имеет производительность 2409,6 л/ч (23807 шт./год, емкостей объемом до 300 л), позволяющая снизить ресурсозатраты в общем на 62,5-80% и энергозатраты на 25,2-37,8%. Экономическая эффективность использования установки (130065,6-234740,5 руб.) и срок окупаемости капиталовложений на его приобретение и ввод в эксплуатацию 0,4-0,8 года (5-10 месяцев).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ теоретических исследований мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока показал, что применение технологий ультрамалого объема обработки и озонирования позволяют снизить ресурсо- и энергозатраты.

2. Результаты теоретических исследований и экспериментов обосновывают экономию ресурсов и электроэнергии при использовании метода ультрамалого объема распыления частиц диаметром 0,04-0,05 мкм в процессе мойки поверхности с шероховатостью 0,15-0,8 мкм: воды на 22 л/мин., моющего и дезинфицирующего средства на 18,4 г/мин., электроэнергия на 1,12 кВт·ч. Установлено, что при среднем диаметре капли 0,04-0,05 мкм и температуре 60°C происходит стерилизация внутреннего объема емкости до 20 л при экспозиции 6 мин., используя в качестве дезинфектанта озонированную воду, с концентрацией озона 10-16 мг/м<sup>3</sup>.

3. Разработанная методика расчета процесса мойки ультрамалым объемом моющего раствора и озонирования позволяет определить конструктивные параметры комбинированной моечной установки, параметры и режимы процесса мойки и дезинфекции (частота ультразвука 0,02-2,5 МГц, время предобработки 0,4-4 мин. и экспозиции 2,4-12 мин.).

4. Исследованы физико-химические свойства частиц тумана моющих и дезинфицирующих растворов. Установлено, что распыление озонированной воды в виде тумана обладает более высокой эффективностью дезинфекции по сравнению с вакуумом на 85, горячей водой (60°C) на 28, озоном (концентрация 0,3-0,5 мг/м<sup>3</sup>) на 72%.

5. Разработаны конструктивно-технологические схемы экспериментальной и производственной комбинированной моечной установки для осуществления мойки и дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молока. Диапазон частот ультразвукового генератора составляет 20 кГц – 2,5 МГц, средний диаметр капель тумана 0,05-0,1 мкм, концентрация озона для воздуха 1,5-4 мг/м<sup>3</sup>, для озонированной воды – 10-16 мг/м<sup>3</sup>, время обработки ультрамалым объемом моющего раствора – 0,4-4 мин., время

дезинфекции – 2,4-12 мин. Для емкостей объемом до 300 л потребляемая мощность составляет от 24 до 300 Вт, расход воды 8 л/ч. Производительность промышленной установки позволяет снизить ресурсозатраты в общем на 62,5-80% и энергозатраты на 25,2-37,8%. Срок окупаемости капиталовложений на ее производство и ввод в эксплуатацию 0,4-0,8 года (5-10 месяцев).

**Рекомендации предприятиям.** С целью снижения ресурсо- и энергозатрат моечных и дезинфицирующих установок при обработке поверхностей молочного оборудования рекомендуется применять комбинированную моечную установку (патент РФ на комбинированную моечную установку № 2728147).

**Перспективы дальнейшей разработки темы.** Тематикой дальнейших исследований будет являться электризация частиц моющих и дезинфицирующих растворов при ультрамалом распылении, осаждение мелкодисперсной среды при течении через канал и в электрическом поле, оптимизация конструкции установки и автоматизация системы управления.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*В изданиях из перечня, рекомендованных ВАК РФ*

1. Загрязняемость внутренних поверхностей емкостей сельскохозяйственных назначений / **С.А. Анохин**, Н.В. Воронин, А.А. Гуськов, Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов, И.С. Филатов // Журнал «Наука в центральной России». – Тамбов: Изд-во ФГБНУ ВНИИТиН, 2020. – № 1 (43) – С. 60-69.

2. Перспективные методы дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молочного сырья / **С.А. Анохин**, А.А. Гуськов, Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов // Журнал «Наука в центральной России». – Тамбов: Изд-во ФГБНУ ВНИИТиН, 2021. – № 2 (50) – С. 48-54.

3. Рецептуры моющих средств для мойки и дезинфекции молочного оборудования фермерских хозяйств / Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, **С.А. Анохин**, А.А. Гуськов // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань: Изд-во РГАТУ, 2021. – № 2. – Т. 13. – С. 116-121.

*Патенты на полезные модели и изобретения*

4. Пат. 2728147 Российская Федерация, МПК А47L 1/02, СПК В05В 7/00. Комбинированная моечная установка / **С.А. Анохин**, А.А. Гуськов, Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов, И.С. Филатов, Н.А. Шестакова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамб. ГТУ». – № 2019144504; заявл. 27.12.2019; опубл. 28.07.2020, Бюл. № 22. – 5 с.: 1 ил.

5. Пат. 2752735 Российская Федерация, МПК В08В 3/02, В24С 3/06, В24С 5/04, В05В 3/02, В05В 9/08, СПК В08В 3/02, В24С 3/06, В24С 5/04, В05В 3/02, В05В 9/08. Моечная головка для струйной очистки / **С.А. Анохин**, А.А. Гуськов, Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамб. ГТУ». – № : 2020124409; заявл. 23.07.2020; опубл. 30.07.2021, Бюл. № 22. – 6 с.: 3 ил.

### *Другие издания*

6. **Анохин, С.А.** Экспериментальная установка определения процессов мойки емкостей из различных материалов для жидких пищевых продуктов и полуфабрикатов сельскохозяйственного производства / С.А. Анохин, В.А. Талыков, О.А. Карташов // *Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации».* – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО ТГТУ, 2017. – С. 510-514.

7. **Анохин, С.А.** Развитие технологических процессов мойки транспортных средств для перевозки пищевой продукции / С.А. Анохин, А.А. Ионкина, Ю.В. Родионов // *Материалы 4-й Международной научно-практической конференции института АрхСиТ ТГТУ «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт».* – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2017. – С. 481-484.

8. **Анохин, С.А.** Совершенствование технологии мойки емкостей для жидких пищевых продуктов / С.А. Анохин, А.Ю. Головкин, П.А. Галкин, Д.Е. Кобзев // *Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара «Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства», посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева.* – М.: Изд-во «Перо», 2018. – С. 247-250.

9. **Анохин, С.А.** Гибкие емкости для транспортирования и хранения сельскохозяйственных жидких и сыпучих продуктов и полуфабрикатов / С.А. Анохин, Н.А. Шестакова // *Всероссийская конференция «Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья».* – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2019. – С. 201-205.

10. **Анохин, С.А.** Бактериологические загрязнения внутренних поверхностей емкостей хранения и транспортирования молочного сырья / С.А. Анохин // *Международная научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса» 26-28 февраля 2020 г.* – Ростов-на-Дону: Изд-во Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», 2020. – С. 349-351.

11. **Анохин, С.А.** Обработка поверхностей ультрамалым объемом / С.А. Анохин, Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов // *Материалы научно-практической конференции «Современное состояние садоводства Российской Федерации, проблемы отрасли и пути их решения».* – Тамбов: ООО «Тамбовский полиграфический союз», 2020. – С. 175-178.

12. **Анохин, С.А.** Современное состояние мойки оборудования животноводства / С.А. Анохин // *Сборник научных статей II международной научно-практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса».* – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2020. – С. 16-18.

13. **Анохин, С.А.** Ультразвуковые технологии в системе мойки емкостей сбора, хранения и транспортирования молока / С.А. Анохин, А.А. Гуськов, Д.В. Никитин // *Материалы 72-й Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации».* – Рязань: Изд-во Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2021. – С. 123-127.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре  
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ  
Подписано в печать 16.02.2022 г. Формат 60x84/16,  
Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 1,2. Тираж 100 экз. Ризограф  
Заказ № 20701

---

Издательско-полиграфический центр  
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ  
393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101,  
тел. +7 (47545) 3-88-34, доб. 211



