

На правах рукописи

**РОДИОНОВА Анастасия Валерьевна**

**УСТАНОВКА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ МОЛОКА  
КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ  
ФАКТОРОВ В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ**

05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

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

Москва - 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия»

**Научный руководитель –** доктор технических наук, профессор  
**Новикова Галина Владимировна**

**Официальные оппоненты:** **Башилов Алексей Михайлович** – доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина;  
**Оболенский Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт», заведующий кафедрой «Механика и сельскохозяйственные машины».

**Ведущая организация –** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный аграрный университет».

Защита состоится 24 декабря 2013 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 006.037.01 при Государственном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д. 2, ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии).

Автореферат разослан 18 ноября 2013 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор технических наук

А. И. Некрасов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Объем производства молока по статистическим данным за 2010...2012 гг. по Российской Федерации (РФ) и Чувашской Республике (ЧР) составил 31916 и 490 тыс. тонн/год соответственно. Причем 250 тыс. тонн молока произведено в условиях хозяйств населения. В рамках государственной программы развития сельского хозяйства (с.-х.) и регулирования рынков сырья и продовольствия на 2013...2020 годы большое внимание уделяется увеличению объема переработанного молока до 36 млн. тонн в год, улучшению качества молока, производимого в фермерских и личных подсобных хозяйствах. Его исходная бактериальная обсемененность достигает  $6 \cdot 10^6 \dots 10^7$  КОЕ/см<sup>3</sup>. Традиционные способы обеззараживания молока эффективны в случае обсемененности молока до 1 млн. КОЕ/см<sup>3</sup>, при этом энергетические затраты составляют 0,10...0,20 кВт·ч/кг. В связи с чем возникает необходимость обеззараживания молока непосредственно в фермерских хозяйствах с использованием электрофизических факторов. Поэтому разработка технологии и технического средства для обеззараживания молока комбинированным воздействием электрофизических факторов, является актуальной.

**Степень разработанности темы.** Существенный вклад в развитие теории пастеризации молока и в разработку конструкции аппаратов для его осуществления внесли такие ученые как: Бредихин С.А., Кавецкий Г.Д., Ковалев Ю.А., Карташов Л.П., Крусь Г.И., Курочкин А.А., Плаксин Ю.М. и др. Их работы в значительной мере способствовали изучению технических средств, предназначенных для обеззараживания молока. Однако в трудах ученых слабо представлены теоретические предпосылки расчета доз воздействия электрофизических факторов, особенно при их комбинировании.

Предлагается проводить обеззараживание молока комбинированным воздействием электрофизических факторов, таких как электромагнитное поле сверхвысокой частоты, ультразвуковые колебания и бактерицидный поток ультрафиолетовых лучей, в технологической линии обработки молока при фермерских хозяйствах и на предприятиях малой мощности.

**Целью** настоящей работы является разработка и обоснование конструктивно-технологических параметров и режимов работы установки для обеззараживания молока комбинированным воздействием электрофизических факторов при сниженных энергетических затратах.

### **Основные научные задачи:**

- разработать технологическую схему обеззараживания молока многократным комбинированным воздействием электромагнитного поля сверхвысокой частоты, ультразвуковых колебаний и бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей;
- разработать алгоритм согласования напряженности электрического поля, емкости и добротности объёмного резонатора с мощностью СВЧ генератора и приращением температуры молока, достаточным для его обеззараживания; получить математические выражения, позволяющие оценить излучаемую удельную механическую мощность ультразвуковых колебаний при наложении электрического поля СВЧ диапазона на молоко;

- разработать установку, содержащую в рабочей камере источники электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона, ультразвуковых колебаний и ультрафиолетовых лучей, позволяющую обеззараживать молоко в процессе многократной циркуляции;
- выявить рациональные режимы и комплекс конструктивно-технологических параметров установки, обеспечивающие улучшение микробиологических показателей молока при сниженных энергетических затратах;
- провести опытно-производственную проверку установки и определить энергетическую и экономическую эффективность её применения;

**Объекты исследования:** методы и технические средства для обеззараживания молока; процесс воздействия физических факторов на молоко; молоко.

**Предметом исследования** является выявление закономерностей рабочего процесса обеззараживания молока воздействием электрофизических факторов.

**Методы исследования.** В теоретических исследованиях применены основы теории электромагнитного поля, ультразвукового воздействия и ультрафиолетового излучения. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с разработанными частными методиками с применением современного оборудования и измерительных приборов. Основные расчеты и обработка результатов экспериментальных исследований выполнялись с применением методов математической статистики и регрессионного анализа при использовании теории активного планирования многофакторного эксперимента.

**Научную новизну** результатов исследования представляют:

- алгоритм согласования конструктивно-технологических параметров установки, обеспечивающей обеззараживание молока комбинированным воздействием электрофизических факторов с режимами ее работы;
- математические выражения, позволяющие оценить излучаемую удельную механическую мощность ультразвуковых колебаний при наложении электрического поля СВЧ диапазона на молоко;
- установка для обеззараживания молока, содержащая рабочую камеру, выполненную в виде цилиндрического перфорированного объёмного резонатора СВЧ генератора, состыкованного с резервуаром ультразвукового генератора, причем источник УФ лучей установлен параллельно молокопроводу из увиолевого стекла (заявки на изобретения № 2013120377 от 08.07.2011 г., № 2013103937 от 29.01.2013 г., №2013147837 от 25.10.2013 г., №2013147837 от 25.10.2013 г.);
- эффективные режимы и комплекс конструктивно-технологических параметров установки, обеспечивающие улучшение микробиологических показателей молока при сниженных энергетических затратах.

**Практическую значимость** представляет изготовленная и апробированная в производственных условиях установка для обеззараживания молока воздействием электрофизических факторов, позволяющая улучшить микробиологические показатели при сниженных энергетических затратах; возможность использования конструкторскими организациями полученных теоретических и экспериментальных результатов исследований и предложенного алгоритма согласования параметров установки.

**Реализация результатов исследований.** Разработка установки для обеззараживания молока проводилась в соответствии с планом НИОКР ФГБОУ ВПО ЧГСХА в рамках тематического плана Министерства сельского хозяйства РФ по разделу «Нанотехнологии». Исследование процесса обеззараживания молока осуществлялось в лаборатории «Электротехнологии» ФГБОУ ВПО ЧГСХА, проверку установки в производственных условиях проводили в ООО «Козловский молочный завод» ЧР, ООО «Комбинат индустриального питания» ЧР. Результаты научных исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО ЧГСХА, ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ», ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», ФГБОУ ВПО «Мордовский ГУ им. Н.П. Огарева», институт механики и энергетики.

**Апробация результатов исследования.** Материалы диссертации доложены и обсуждены: на всероссийских научно-практических конференциях молодых ученых, аспирантов и студентов «Молодые ученые в решении актуальных проблем сельского хозяйства» (г. Чебоксары, ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 2011...2013 г.); в V республиканском конкурсе инновационных проектов «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (г. Чебоксары, Волжский филиал МАДИ, 17.11.2011 г.); в XV международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства» (г. Йошкар-Ола, ФГБОУ ВПО «Марийский ГАУ», 21.02.2013 г.); на международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в АПК» (г. Казань, ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 23.04.2013 г.); во II республиканском фестивале научно-технического творчества молодежи «НТТМ-Чувашия» (г. Чебоксары, 04.06.2013 г.).

*Установка демонстрировалась* на республиканском фестивале научно-технического творчества молодежи «НТТМ-Чувашия» (04.06.2013 г.); выставке, посвященной Дню работников сельского хозяйства (ФГБОУ ВПО ЧГСХА, 08.11.2013 г.).

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационных исследований удостоены:

- *стипендии* президента Российской Федерации на 2013...2015 г.г. (приказ №136 от 28.02.2013 г.);
- грантов молодежного научно-инновационного конкурса (У.М.Н.И.К. – 2009 г., 2010 г., г. Чебоксары);
- *дипломов и сертификатов*: за 1 место во II республиканском фестивале научно-технического творчества молодежи «НТТМ-Чувашия» (г. Чебоксары, Министерство образования и молодежной политики ЧР, 2013 г.); за активное участие в республиканском конкурсе «Молодой изобретатель Чувашской Республики», ВОИР, 2011 г.); на VII всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Молодые ученые в решении актуальных проблем сельского хозяйства» (ФГБОУ ВПО ЧГСХА), 2011...2013 г. г.); на XV международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продук-

ции сельского хозяйства» (ФГБОУ ВПО «Марийский ГУ», 2013 г.); на международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и технические средства в АПК» (ФГБОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2013 г.); на V республиканском конкурсе инновационных проектов «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (Волжский филиал МАДИ, 2011 г.).

**Публикации.** Результаты исследований отражены в 14 научных работах, в том числе 4 из перечня ведущих периодических изданий, определенных ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 170 страницах и состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованной литературы, включающего 136 наименований, приложений. В диссертационной работе содержится 75 рисунков и 23 таблицы.

**Научные положения и результаты исследования,** выносимые на защиту:

- технологический процесс обеззараживания молока многократным воздействием электрофизических факторов;
- алгоритм согласования конструктивно-технологических параметров установки, обеспечивающей обеззараживание молока комбинированным воздействием электрофизических факторов с режимами ее работы;
- математические выражения, позволяющие оценить излучаемую удельную механическую мощность ультразвуковых колебаний при наложении электрического поля СВЧ диапазона на молоко;
- установка для обеззараживания молока, содержащая рабочую камеру, выполненную в виде цилиндрического перфорированного объёмного резонатора СВЧ генератора, состыкованного с резервуаром ультразвукового генератора, причем источник УФ лучей установлен параллельно молокопроводу из увиолевого стекла, позволяющему перекачивать молоко с помощью насоса;
- эффективные режимы и комплекс конструктивно-технологических параметров установки, обеспечивающей улучшение микробиологических показателей молока при сниженных энергетических затратах.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показана актуальность темы, определена цель и поставлены задачи исследований, приведены предмет и объект исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, представлена общая характеристика работы.

**В первом разделе** «Состояние вопроса и задачи исследования» приведен анализ ресурсов и объемов перерабатываемого молока по РФ и ЧР, обзор научно-технической и патентной литературы на существующие способы и установки для обеззараживания жидкостей воздействием электрофизических факторов, охарактеризованы решаемые в работе задачи. Научно-методической основой для обоснования параметров разработанной установки в ходе теоретических и экспериментальных исследований явились научные труды в области:

- разработки технологического оборудования для производства и переработки молока, таких авторов как Бредихин С.А., Краснокутский Ю.В., Круев Т.Н., Остриков А.Н., Хмелев В.Н. и др.;
- электротехнологии – Стребков Д.С., Бородин И.Ф., Башилов А.М., Рогов И.А., Воробьев В.А., Кудрявцев И.Ф., Живописцев Е.Н., Цугленок Н.В. и др.;
- теории ультразвуковых колебаний – Абакумов В. Г., Агранат Б.В., Акопян Б.А., Бергман Л., Кикучи Е., Маргулис М.А. и др.;
- использования светотехнического оборудования – Лямцов А.К., Бакшеев П.Д., Газинский В.Л., Кожевникова Н.Ф., и др.

Исследованиями известных ученых решен ряд теоретических и прикладных задач в области обоснования параметров и режимов установок для обработки молока воздействием электрофизических факторов. Однако процесс комбинированного воздействия электрофизических факторов таких, как электромагнитное поле сверхвысокой частоты, ультразвуковые колебания и бактерицидный поток ультрафиолетовых лучей, недостаточно изучен.

**Во втором разделе** «Теоретическое обоснование параметров и режимов работы установки для обеззараживания молока» приведены: схема технологического процесса обеззараживания молока, алгоритм согласования параметров объемного резонатора СВЧ генератора с режимами работы установки.

Технология обеззараживания молока комбинированным воздействием электрофизических факторов (рис. 1), реализуемая с помощью разработанной установки, предусматривает следующие операции:



Рисунок 1 - Блок-схема технологического процесса обеззараживания молока комбинированным воздействием электрофизических факторов

Установка для обеззараживания молока, отличающаяся новым конструктивным исполнением, состоит из цилиндрического экранирующего корпуса 1, герметично закрытого крышкой 2, внутри которого коаксиально расположен объемный резонатор 4 СВЧ генераторного блока 3. Нижнее основание объемного резонатора перфорировано и состыковано с резервуаром 5, на дне которого установлены пьезоэлектрические преобразователи ультразвукового генератора 6. При этом патрубки слива 7 и подачи 14 молока соединены с системой вентилей, насосом 9 и счетчиком молока 10 молокопроводом 11, участок которого выполнен из увиолевого стекла 12, а параллельно ему установлен источ-

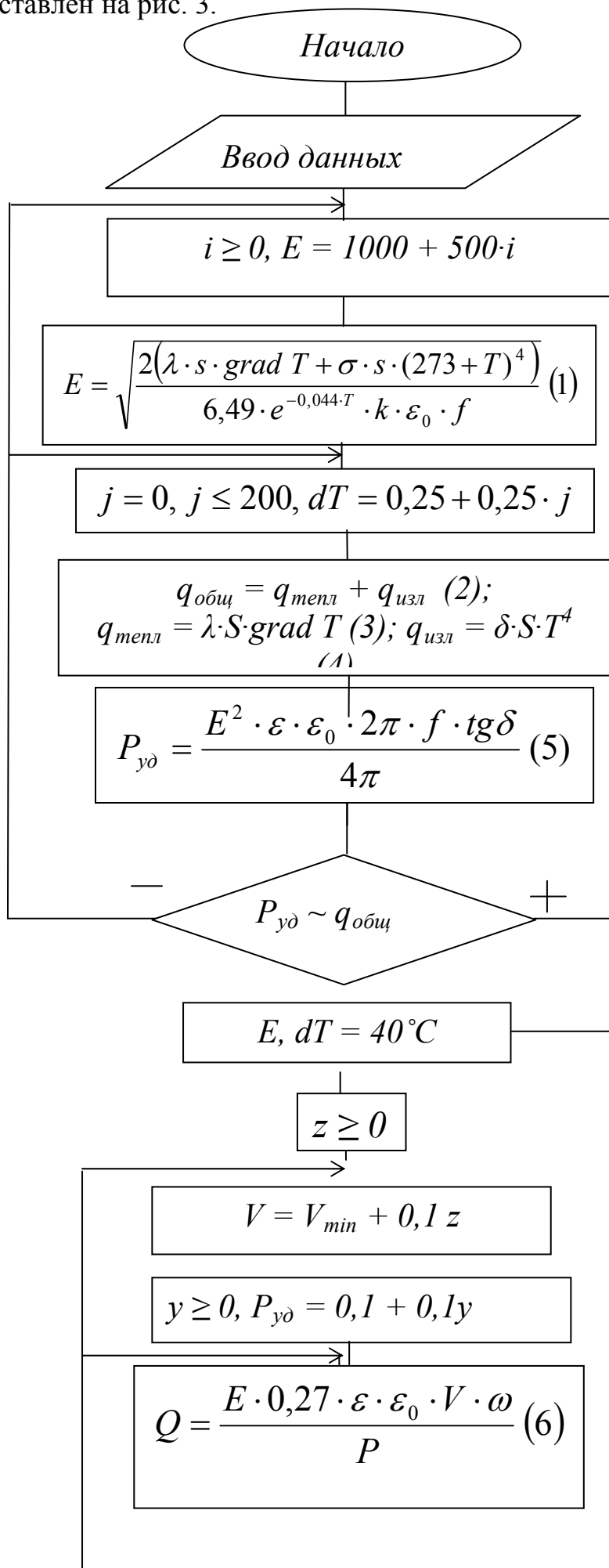
ник бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей 13. Патрубок подвода молока 14 выполнен из неферромагнитного материала, обеспечивает функцию за-предельного волновода.



Рабочая камера представляет собой объёмный резонатор СВЧ генератора, его нижнее основание перфорировано и состыковано с резервуаром ультразвукового генератора (рис. 2). Перфорация объёмного резонатора обеспечивает проникновение потока мощности ЭМП СВЧ в резервуар УЗ генератора, в объёме которого происходит комплексное их воздействие. Известно, что комбинированное воздействие физических факторов на молоко подавляет процессы жизнедеятельности микроорганизмов. Основной задачей является обоснование параметров электромагнитного поля СВЧ, ультразвуковых колебаний и бактерицидного потока УФ лучей, позволяющих снизить бактериальную загрязненность молока. Алгоритм согласования параметров ЭМП СВЧ, а именно напряженности электрического поля в объёмном резонаторе с приращением темпера-



туры, позволяющей затормаживать развитие бактериальной микрофлоры, представлен на рис. 3.



*Исходные данные:*

$\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума ( $8,85 \cdot 10^{12}$  Ф/м);  
 $f$  – частота электромагнитного поля, 2450 Гц;  
 $\lambda$  – коэффициент теплопроводности воды;  
 $r$  – радиус микроорганизма,  $10^{-6}$  м;  
 $s$  – площадь микроорганизма,  $10^{-12}$  м<sup>2</sup>;  $\delta$  – излучательная способность абсолютно черного тела,  $5,7 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>·°К.

*Напряженность электрического поля (1) Корчагина Ю.В. и Стефана-Больцмана)*

*Потери мощности с поверхности микроорганизма (2, 3, 4) [Живописцев Е.Н.]*

*Поглощаемая микроорганизмами мощность, Вт/м<sup>3</sup> (5) [Пчельников Ю. Н.]*

*Исходные данные:*  
 $V$  – объем загрузки резонатора, (0,1...1 л);  
 $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость воды при температуре 10...50°С;  
 $\epsilon = 23,382 \cdot e^{-0,024 \cdot T}$ ;  
 $\text{tg } \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь молока,  
 $\text{tg } \delta = 0,2775 \cdot e^{-0,02 \cdot T}$ ;  
 $k$  – коэффициент, учитывающий процентное содержание воды в микроорга-

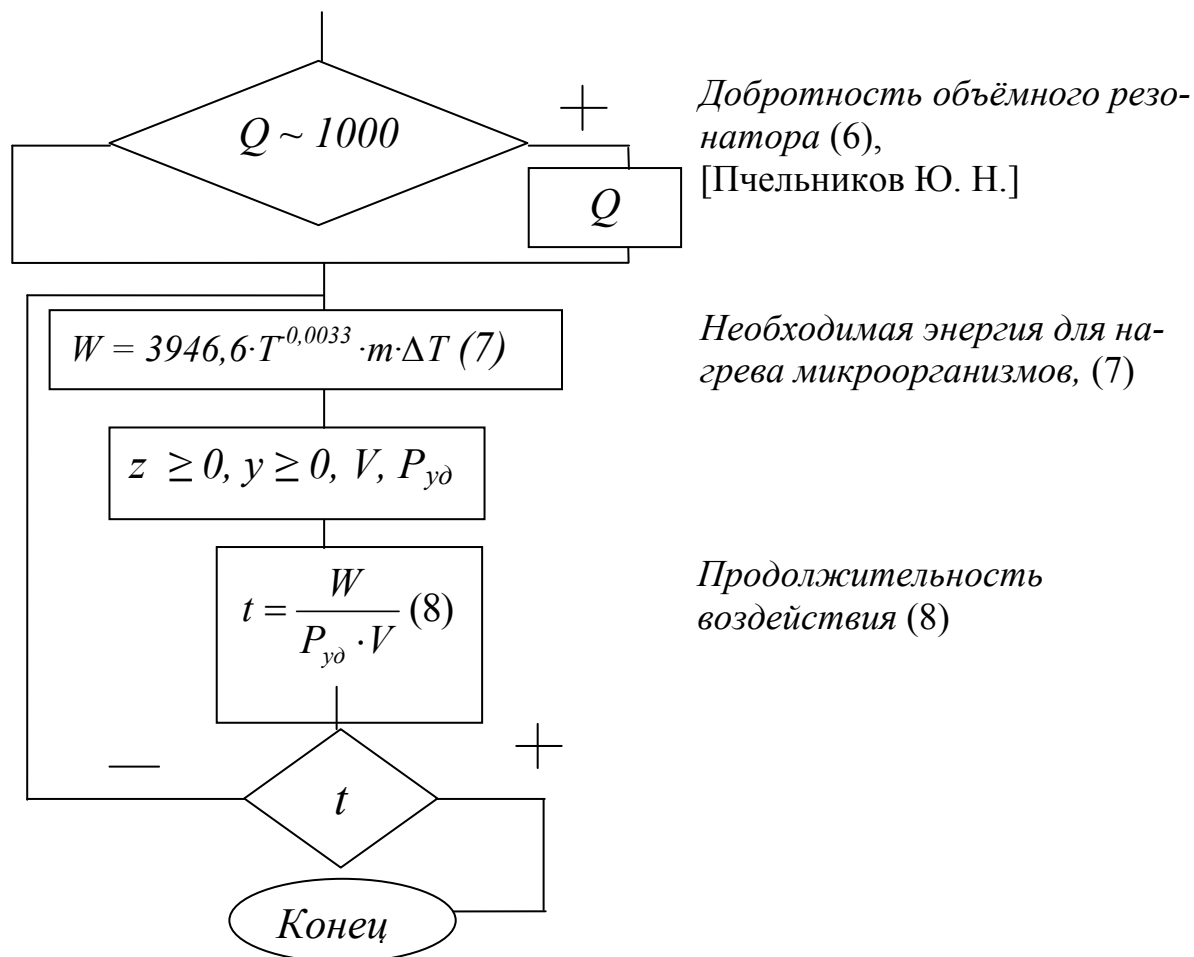


Рисунок 3 – Алгоритм согласования параметров ЭМПСВЧ с продолжительностью воздействия и с приращением температуры молока

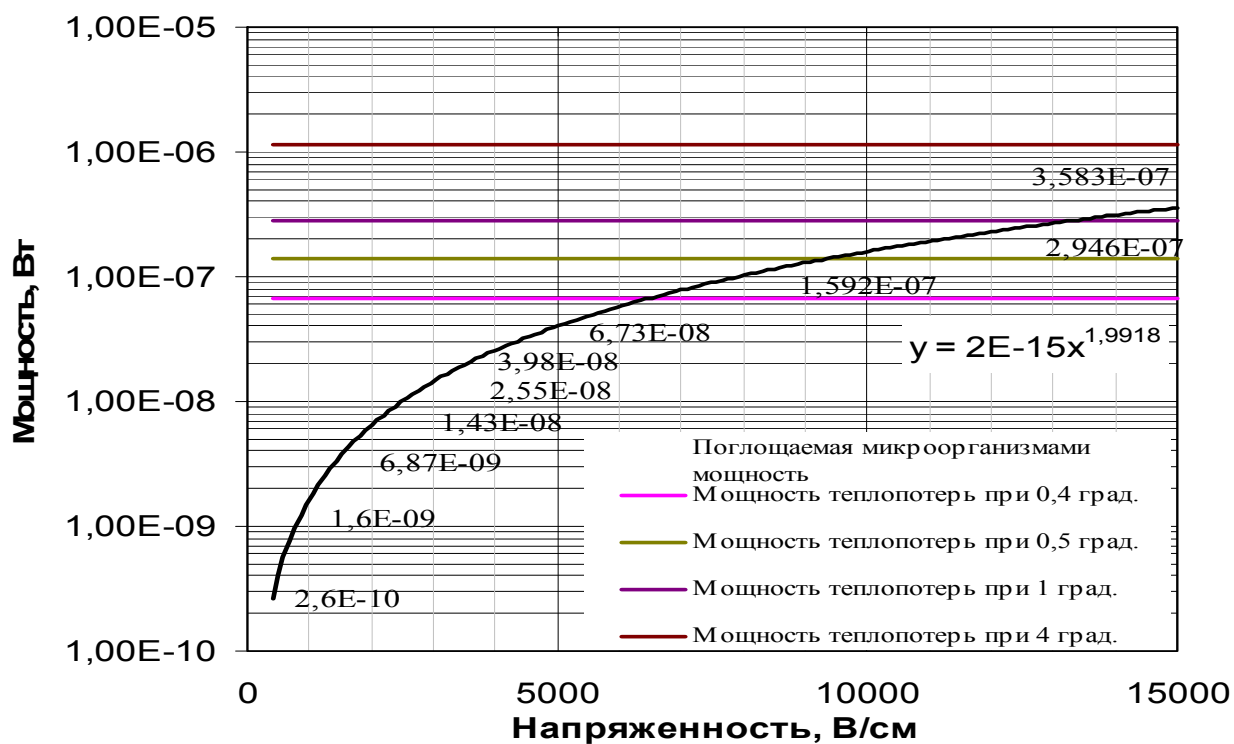


Рисунок 4 – Зависимость поглощаемой микроорганизмами мощности от напряжённости электрического поля в сравнении с мощностью теплотерь при разных приращениях температуры молока

Программное обеспечение позволяет выявить критическую напряженность электрического поля при разных значениях приращения температуры в молоке.

Исследования показывают, что при критической напряженности электрического поля 6,47 кВ/см в объемном резонаторе, возможно примерное равенство мощности диэлектрических потерь в микроорганизмах и мощности потерь за счет их теплопередачи. При этом приращение температуры молока на 41°С достигается многократным воздействием, шагом по 0,4°С.

Рассмотрим элементы теории процесса воздействия ультразвуковых колебаний (рис. 5).

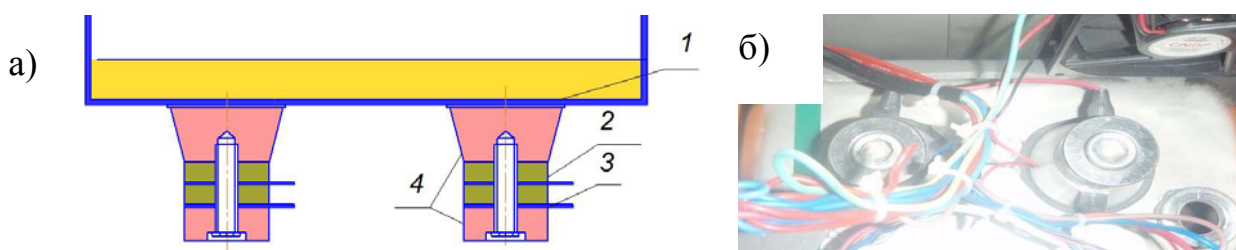


Рисунок 5 – К расчету удельной мощности ультразвуковых колебаний:

а – схема расположения пьезоэлементов под резервуаром УЗ генератора (1 – резервуар, 2 – пьезопластины, 3 – электроды, 4 – накладки); б – реальное исполнение

С учетом изменения волнового сопротивления молока в процессе его озвучивания и *эквивалентной напряжённости* электрического поля, воспользовавшись методикой Д.А. Гершгала, В.М. Фридмана, получили выражение для определения удельной механической мощности ультразвуковых колебаний, возбуждаемых многослойным пьезоэлектрическим преобразователем, закрепленным под нижним основанием резервуара. Она составляет 2,5...3 Вт/см<sup>2</sup>.

**В третьем разделе** «Методика и средства экспериментальных исследований» приведены частные методики исследований и характеристики использованной измерительной аппаратуры; машинно-аппаратная схема обработки молока; описания моделей установок, позволяющих обеззараживать молоко комбинированным воздействием электрофизических факторов.

Источником СВЧ энергии служил генератор MISTERY 1720, работающий на частоте 2450 МГц, потребляемой мощностью 1100 Вт. Воздействие УФ лучами на молоко осуществляли при помощи облучателя, с лампой ДРТ 240. Ультразвуковая обработка проводилась в резервуаре ультразвуковой ванны ВУ-09-«Я-ФП» с частотой преобразователя 43 кГц. Перекачивание и регулирование скорости потока молока через рабочую камеру выполнялось циркуляционным насосом OASIS марки НЦ 25/А, а учет расхода молока – счетчиком СГВ-15 «Бетар». Исследование мощности потока электромагнитных излучений установки для обеззараживания молока осуществляли измерителем ПЗ-33, а уровня звукового давления около установки – шумомером Center. Измерение жирности, плотности, содержания белка, содержания общего молочного остатка определяли с помощью анализаторов молока «Клевер-2», Milko Scan Minor 6, а кислотности молока – с помощью Нитрон-рН. Измерение температуры в продук-

те осуществляли с помощью цифрового контроллера температуры E5CN, а распределение теплового потока по поверхности молока контролировали тепловизором FLIR i3.

**В четвертом разделе** «Результаты исследования технологического процесса обеззараживания молока» приведены: исследования динамики нагрева молока воздействием ЭМП СВЧ и ультразвуковых колебаний; оценка качества молока по микробиологическим, физико-химическим и органолептическим показателям; оптимизация энергетических затрат на обеззараживание молока и режимы работы установки.

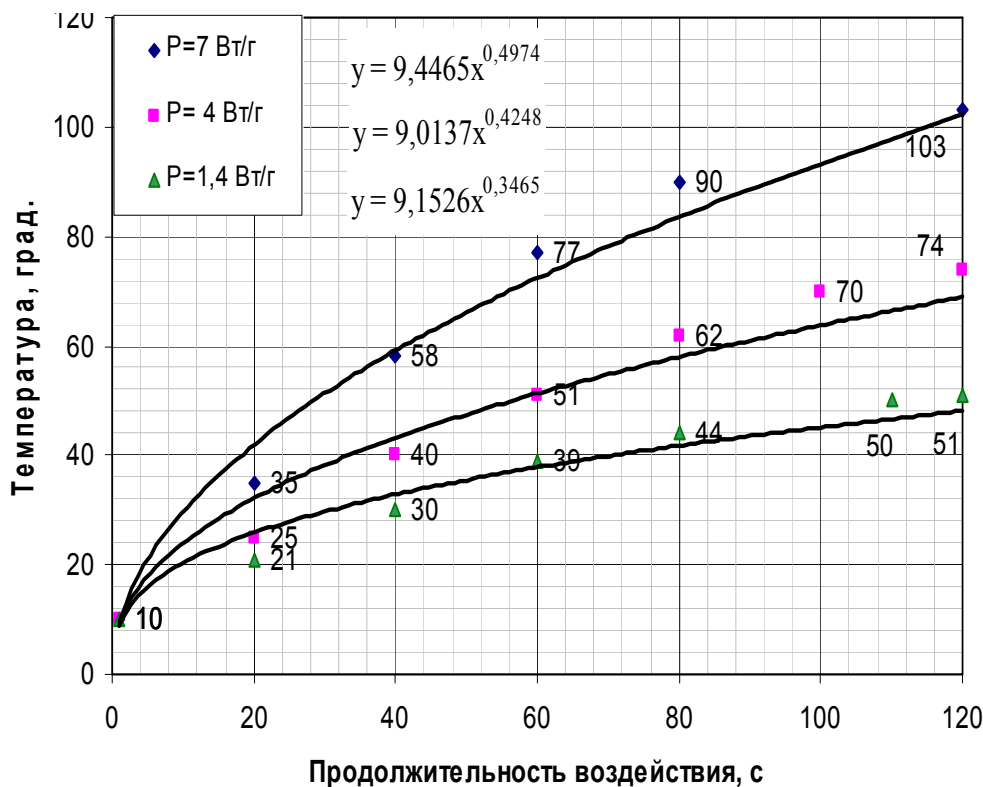


Рисунок 6 – Динамика нагрева молока при разных удельных мощностях СВЧ генератора: 1) 7 Вт/г; 2) 4 Вт/г; 3) 1,4 Вт/г.

Экспериментальные исследования динамики эндогенного нагрева молока при удельных мощностях СВЧ генератора 7 Вт/г, 4 Вт/г и 1,4 Вт/г показывают, что за  $\tau = 120$  с приращение температуры в молоке составляет  $93^{\circ}\text{C}$ ,  $64^{\circ}\text{C}$ ,  $41^{\circ}\text{C}$  соответственно (рис. 6) и графики описываются следующими эмпирическими выражениями:

$$T = 9,4465\tau^{0,4974}, T = 9,0137\tau^{0,4248}, T = 9,1526\tau^{0,3465}. \quad (9)$$

Воздействие ультразвуковых колебаний на молоко в стационарном режиме в резервуаре генератора удельной мощностью  $0,63$  Вт/г обеспечивает приращение температуры  $6,5 \dots 8^{\circ}\text{C}$  (рис. 7).

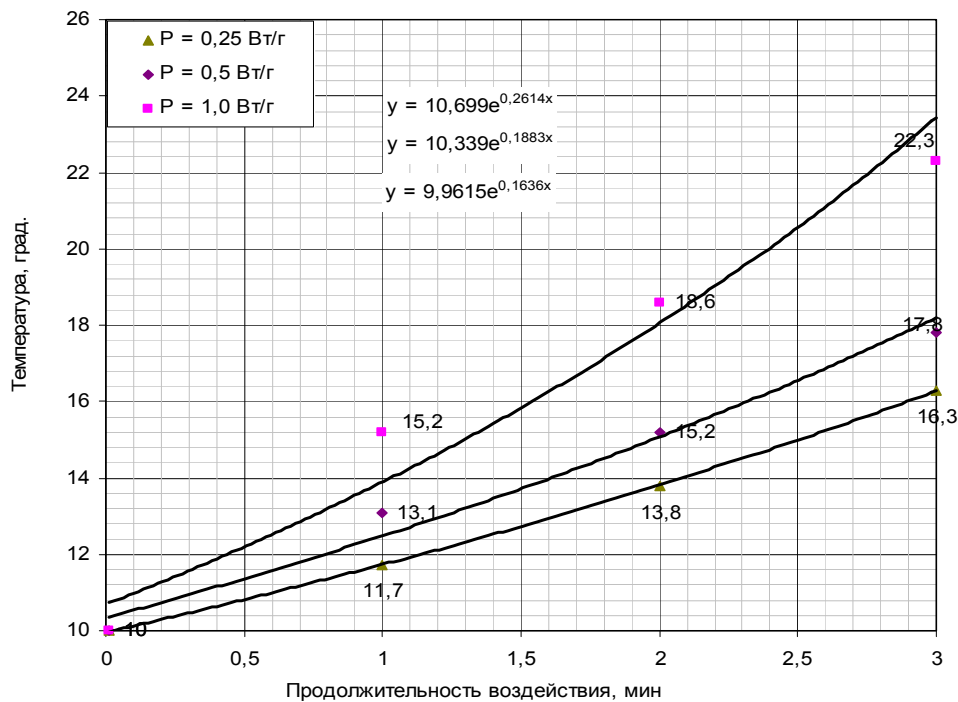


Рисунок 7 – Динамика нагрева молока при воздействии ультразвуковых колебаний

Результаты исследования распределения теплового потока в молоке при перекачивании его через рабочую камеру в турбулентном режиме в течении 80...100 с показывают, что неравномерность нагрева по объёму снижается с 18°...24°С до 1,5...2°С, по сравнению со стационарным режимом (рис. 8).

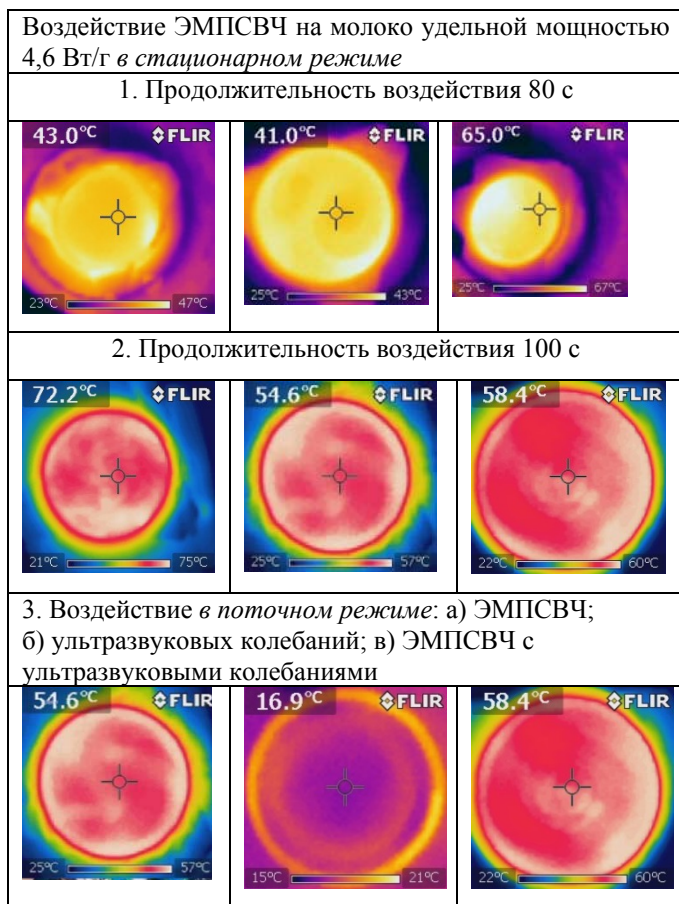


Рисунок 8 – Картина распределения теплового потока по поверхности молока: 1), 2) в контейнерах, расположенных поперечно при стационарном воздействии продолжительностью 80 с и 100 с; 3) в поточном режиме при воздействии а) ЭМП СВЧ; б) ультразвуковых колебаний; в) ЭМП СВЧ и ультразвуковых колебаний

Доля влияния ультразвуковых колебаний на динамику нагрева составляет 14,05 %, а ЭМП СВЧ – 85,95 %. Приращение температуры при комбинированном воздействии ЭМП СВЧ и ультразвуковых колебаний на 47...48°С достигается за 200 с, при указанных удельных мощностях.

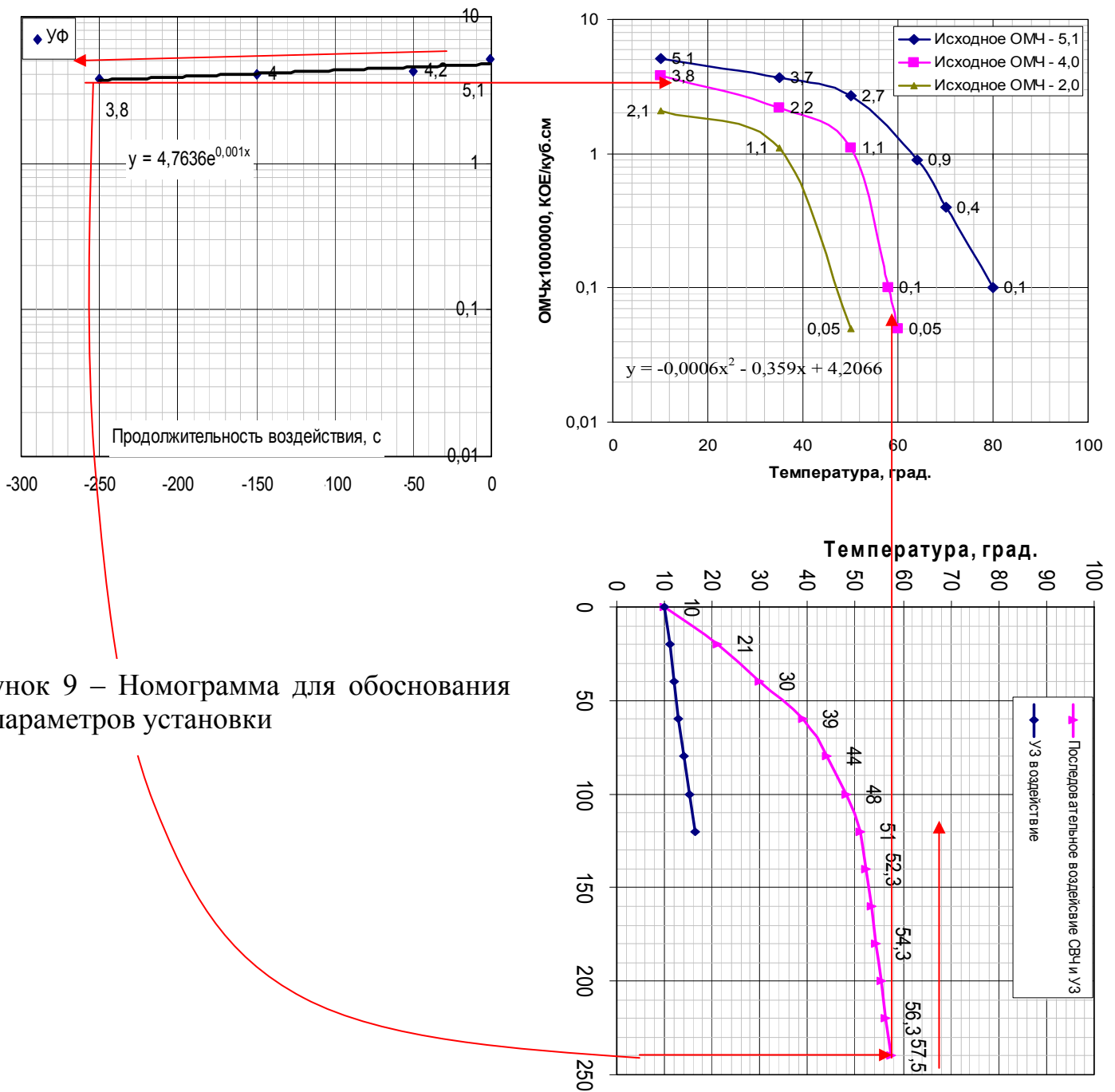


Рисунок 9 – Номограмма для обоснования параметров установки

Номограмма для согласования технологических параметров установки с режимами работы (рис. 9) представляет собой последовательность действий при регистрации экспериментальных и теоретических исследований. Снижение бактериальной обсемененности молока при его облучении в турбулентном режиме через молокопровод из увиолевого стекла происходит по экспоненциальному закону  $B = 4,7636 \cdot e^{0,001\tau}$ .

Воздействие на молоко ЭМП СВЧ и ультразвуковых колебаний в рабочей камере сопровождается тепловыделением в объеме продукта. Приращение температуры молока в объемном резонаторе СВЧ генератора составляет 41 °С. При истечении молока в УЗ резервуар происходит комплексное воздействие на молоко краевого потока мощности ЭМП СВЧ и ультразвуковых колебаний. Общее



приращение температуры молока в рабочей камере достигает 47...48°C. Известно, что при кавитационном воздействии в молоке разрушаются коллоиды и частицы, внутри которых могут содержаться бактерии, поэтому микроорганизмы становятся уязвимыми перед последующими физическими воздействиями электромагнитных излучений. Оценка влияния кавитационной обработки молока в сочетании с воздействием бактерицидного потока УФ лучей на содержание КМАФАнМ показала, что после циклической обработки молока в разработанной установке количество микроорганизмов снизилось с  $5,1 \cdot 10^6$  до  $1,8 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>; при воздействии ЭМП СВЧ и ультразвуковых колебаний бактериальная обсемененность составила  $0,9 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup>.

Пользуясь методикой активного планирования трехфакторного эксперимента и программой «Statistic V5.0», построены модели производительности, приращения температуры молока, энергетических затрат на обеззараживание и снижения общего микробного числа. Двумерные сечения в изолиниях моделей энергетических затрат и бактериальной обсемененности молока, при постоянной удельной мощности УЗ генератора равной 0,25 Вт/г, приведены на рис. 10.

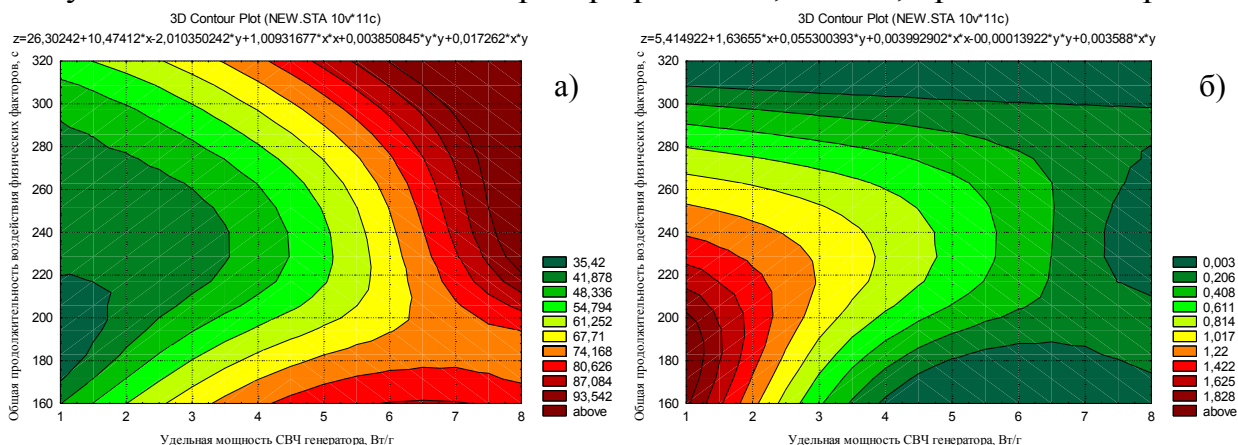


Рисунок 10 – Двумерные сечения в изолиниях трехфакторных моделей: энергетических затрат на обеззараживания молока (а) и снижение бактериальной обсемененности в нем (б)

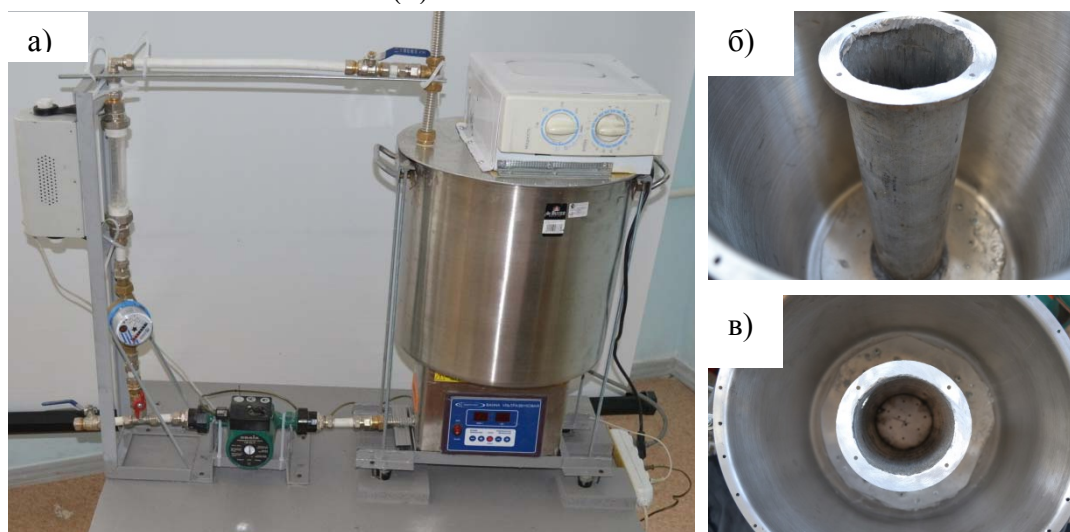


Рисунок 11 – Установка для обеззараживания молока комбинированным воздействием ЭМП СВЧ, ультразвуковых колебаний и потока УФ излучений (а) и расположение резонаторной камеры в экранирующем корпусе (б, в)





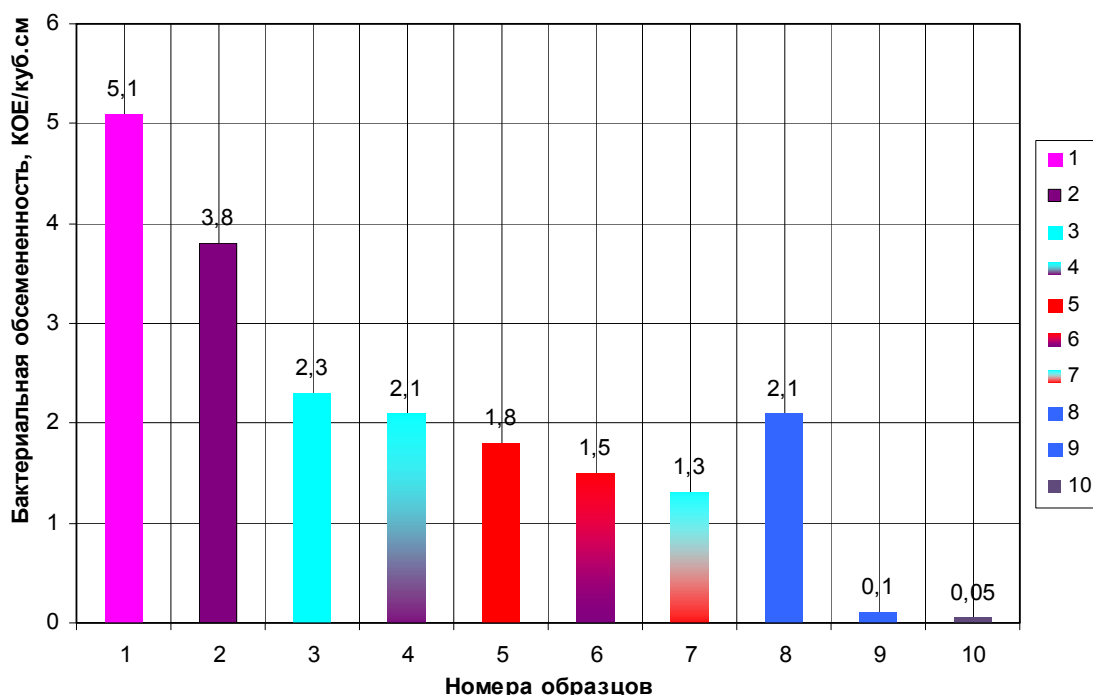


Рисунок 12 – Сравнительная характеристика результатов исследования ОМЧ опытных и контрольных образцов

Исследование зависимости мощности потока излучений от расстояния до установки для обеззараживания молока проводилось в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Чувашской Республике – Чувашии». Изменение мощности потока излучения установки от расстояния до неё при разной высоте замера представлены на рис. 13.

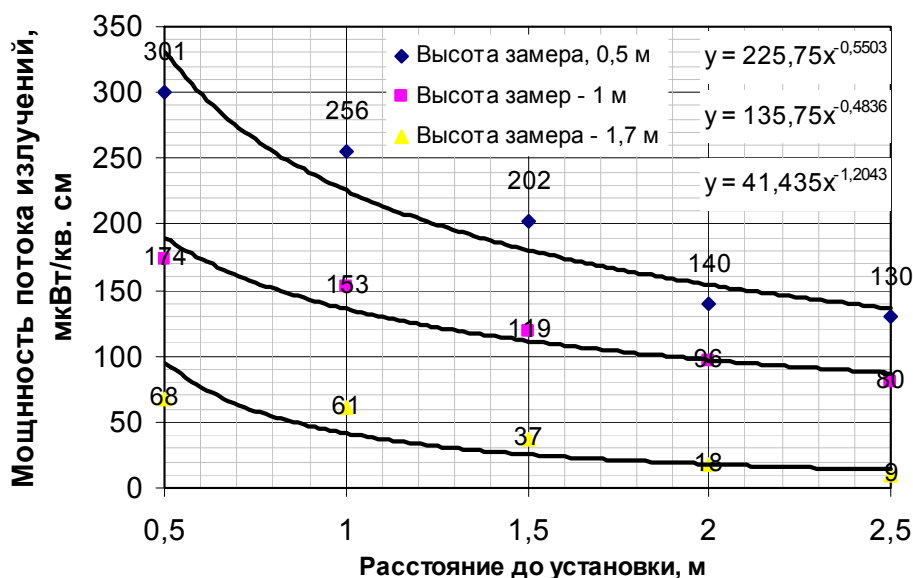


Рисунок 13 – График изменения мощности потока излучения от расстояния до источника

**В пятом разделе** «Экономическая оценка результатов исследований» представлено технико-экономическое обоснование результатов исследований, основанное на сопоставлении приведенных затрат по базовой и новой технике.

Ожидаемый экономический эффект от применения установки для обеззараживания молока комбинированным воздействием электрофизических факторов в малых фермерских хозяйствах составляет 214 тыс. руб./год при объеме выпускаемой продукции свыше 60480 кг.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанный технологический процесс обеззараживания молока *позволяет* снизить бактериальную обсемененность молока с  $5,1 \cdot 10^6$  КОЕ/см<sup>3</sup> до 100000 КОЕ/см<sup>3</sup> при многократном комбинированном воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты, ультразвуковых колебаний и бактерицидного потока ультрафиолетовых лучей до приращения температуры нагрева 56...60°C.

2. Разработанный алгоритм и программное обеспечение для согласования конструктивно-технологических параметров установки с режимами ее работы *позволил* выявить критическую напряженность электрического поля СВЧ диапазона равную 6,47 кВ/см<sup>3</sup>, при которой происходит выравнивание мощности диэлектрических потерь с мощностью теплотерь микроорганизмами, если шаговое приращение температуры 0,4°C.

3. На основе полученных математических выражений *оценена* излучаемая удельная механическая мощность ультразвуковых колебаний при наложении краевого электрического поля СВЧ диапазона на молоко, излучаемого через перфорацию объемного резонатора. Она составляет 2,5...3 Вт/см<sup>2</sup>.

4. Разработанная установка для обеззараживания молока производительностью 18...20 л/ч, содержащая рабочую камеру, выполненную в виде цилиндрического перфорированного объемного резонатора (3,4 л) СВЧ генератора (700 Вт), состыкованного с резервуаром с ультразвукового генератора, и источник УФ лучей (240 Вт), установленный параллельно молокопроводу из увиолевого стекла, *обеспечивает* при перекачивании молока с помощью насоса снижение энергетических затрат с (0,1...0,2) до (0,08...0,11) кВт·ч/кг.

5. Выявленные эффективные режимы работы и комплекс конструктивно-технологических параметров установки, обеспечивающие улучшение микробиологических и органолептических показателей молока, подтверждены результатами апробирования установки с потребляемой мощностью 1,6 кВт в производственных условиях; ожидаемый экономический эффект от применения установки в фермерских хозяйствах составляет 214 тыс. руб./год за счет повышения цены реализации молока с улучшенными микробиологическими показателями;

6. *Перспективы дальнейшей разработки темы.* На основе результатов полученных исследований с использованием теории подобия разработать установку для обеззараживания молока *комплексным* воздействием электрофизических факторов для крупных перерабатывающих предприятий молочной промышленности.

## **Основные положения диссертации изложены в следующих работах:**

*- публикации в изданиях, определенных ВАК РФ:*

1. Родионова, А. В. Экономическая эффективность применения установки для обеззараживания молока комплексным воздействием физических факторов / А. В. Родионова // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева». – Чебоксары: ЧГПУ, 2011, № 2 (74). – С. 118...121.

2. Родионова, А. В. Технология пастеризации молока комбинированным воздействием электромагнитных излучений разных длин волн /А.В. Родионова, М.В. Белова, Г. А. Александрова, О. В. Михайлова // Вестник ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева». – Чебоксары: ЧГПУ, 2013, № 2 (78). – С. 122...125.

3. Родионова, А. В. Обоснование режимов работы установки для обеззараживания молока /А. В. Родионова, Г.В. Новикова // Вестник ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева». – Чебоксары: ЧГПУ, 2013, № 4 (80). – С. 46...48.

4. Родионова, А. В. Электропастеризатор молока /А. В. Родионова, Г.В. Новикова // Вестник ФГОУ ВПО «Казанский государственный аграрный университет». – Казань: КГАУ, 2013, № 3 (29). – С. 80...83.

*- публикации в сборниках научных трудов и материалов конференций:*

5. Родионова, А. В. Ультразвуковая обработка молока /А. В. Родионова, Г. В. Новикова // Материалы XII всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Молодые ученые в решении актуальных проблем сельского хозяйства», посвященной 80-летию ФГБОУ ВПО ЧГСХА. – Чебоксары: ЧГСХА, 2011. – С. 313...315.

6. Родионова, А. В. Устройство для ультразвуковой обработки /А.В. Родионова //Материалы – республиканского конкурса инновационных проектов по программе "Участник молодежного научно-инновационного конкурса" У.М.Н.И.К. – 2011 в рамках республиканского молодежного научно-образовательного форума "Первый шаг вперед". – Чебоксары: Волжский филиал МАДИ, 2011. – С. 111...112.

7. Родионова, А. В. Устройство для ультразвуковой обработки молока /А.В. Родионова, Г.В. Новикова //Материалы всероссийской научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству», посвященная 80-летию ФГБОУ ВПО ЧГСХА. – Чебоксары: ЧГСХА, 2011, – часть 2. – С. 102...104.

8. Родионова, А. В. Ультразвуковой пастеризатор молока / А. В. Родионова // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства». Выпуск 14. – Йошкар-Ола: ФБГОУ ВПО «Марийский ГУ», 2012. – С. 153...154.

9. Родионова, А. В. Установка для обеззараживания молока / А. В. Родионова, М. В. Белова // Материалы международной научно-практической конференции

Института механизации и технического сервиса Казанского ГАУ «Перспективные технологии и технические средства в АПК». – Казань: ФБГОУ ВПО «Казанский ГАУ», 2013. – С. 126...128.

10. Родионова, А. В. Разработка установки для ультразвуковой обработки молока /А.В. Родионова // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства». Выпуск 15. – Йошкар-Ола: ФБГОУ ВПО «Марийский ГУ», 2013. – С. 146...147.

11. Родионова, А. В. Установка для обеззараживания молока / А. В. Родионова // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей «Знания молодых: наука, практика и инновации». В 2 ч. Ч. 2. Технические и экономические науки. – Киров: ФБГОУ ВПО «Вятская ГСХА», 2013. – С. 49...51.

12. Родионова, А. В. Технология обеззараживания молока комплексным воздействием электромагнитных излучений разных длин волн / А. В. Александрова // Материалы XXII международной заочной научно-практической конференции «Технические науки - от теории к практике». – Новосибирск: СибАК, 2013. – С. 98...103.

13. Anastasiya, Rodionova. Features of the device for ultrasonic homogenization of milk // European Applied Sciences: modern approaches in scientific researches, proceedings of the 4th International scientific conference. ORT Publishing. Stuttgart. 2013. – P. 91...92.

14. Родионова, А. В. Повышение эффективности низкотемпературной обработки молочных продуктов /А.В. Родионова// Материалы XII международной научной конференции «Актуальные вопросы современной техники и технологии». – Липецк: Гравис, 2013. – С. 122...125.