

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Северо-Кавказский федеральный университет»

На правах рукописи

НАГДАЛЯН АНДРЕЙ АШОТОВИЧ

РАЗРАБОТКА ИНТЕНСИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОСОЛА ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ГОВЯДИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Специальность 05.18.04 – Технология мясных, молочных и рыбных  
продуктов и холодильных производств

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук  
доцент  
Оботурова Наталья Павловна

Ставрополь – 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1. Диффузионно-осмотические и фильтрационные процессы при посоле мясного сырья	12
1.2. Биохимические и микробиологические процессы, протекающие при посоле	17
1.2.1. Биохимические изменения основных компонентов мышечной ткани	17
1.2.2. Консервирующий эффект посола	20
1.3. Интенсификация процесса посола цельномышечного мясного сырья	22
1.4. Теоретические и практические аспекты разрядно-импульсных технологий	31
1.5. Математическая модель электрогидравлического эффекта	36
1.5.1. Преобразование энергии разряда в энергию ударной волны	38
1.5.2. Преобразование энергии в парогазовой полости физико-химические процессы обработки пищевых продуктов	42
1.6. Перспективы использования разрядно-импульсной обработки для интенсификации процесса посола цельномышечного сырья	45
ГЛАВА 2 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	48
2.1. Характеристика объектов исследования и условия проведения эксперимента	48
2.2. Схема проведения эксперимента	52
2.3. Методы исследований	55
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА МОДЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ	

«РАССОЛ-МЯСО»	69
3.1 Компьютерное моделирование эксперимента	69
3.2 Исследование электрических и энергетических параметров разряда	72
3.3.Влияние разрядно-импульсной обработки на микробиологические показатели модельных водных сред	76
3.4 Изучение влияния разрядно-импульсной обработки на физико-химические свойства рассола	79
3.5 Исследование влияния высокого давления на скорость диффузионно-осмотических процессов	83
3.6 Влияние разрядно-импульсной обработки на микроструктуру мышечной ткани	91
3.7. Исследование влияния разрядно-импульсной обработки на структурно-механические и функционально технологические свойства мясного сырья	100
3.8. Исследование влияния тепловой обработки на показатели качества модельных систем	109
Глава 4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВАРЕНО-КОПЧЕНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ГОВЯДИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ	114
4.1. Влияние разрядно-импульсной обработки на показатели качества варено-копченых изделий из говядины	115
4.2 Изучение влияния разрядно-импульсной обработки на безопасность продукции	122
4.2.1. Исследование эрозии металлов электродной системы ГИТ-6	122
4.2.2. Влияние разрядно-импульсной обработки на микробиологические показатели готовой продукции	125
ВЫВОДЫ	131
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	144
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	135
ПРИЛОЖЕНИЕ	161

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 г. ставит перед пищевой промышленностью задачу исследования и внедрения новых технологий, позволяющих существенно расширить выпускаемый ассортимент продуктов питания с заданными качественными характеристиками [53].

Современные тенденции в науке и технологиях, с позиции общей концепции государственной внешнеэкономической политики, должны быть ориентированы на разработку конкурентоспособных мясопродуктов нового поколения, перспективных в плане импортозамещения и увеличения внутреннего спроса [28].

Основными целями при разработке новых и совершенствовании существующих технологий являются: сокращение длительности технологического процесса и повышение производительности технологического оборудования, снижение его энерго- и материалоемкости и улучшение качества продуктов [125]. Для достижения этих целей разрабатывается и изготавливается новое высокоэффективное оборудование, применяются различные физико-химические методы на основе результатов научно-технического прогресса и новых технологических подходов в производстве мясопродуктов.

В настоящее время одним из перспективных направлений интенсификации технологических процессов признаются методы, основанные на импульсных энергетических воздействиях с применением различных физико-химических эффектов [125]. В основу создания высокоэффективных технологий могут быть заложены принципиально новые инженерные решения, базирующиеся на теоретических и экспериментальных исследованиях физико-химических процессов в

обрабатываемых средах при интенсивных импульсных воздействиях. На наш взгляд такой технологией может стать разрядно-импульсная обработка, основанная на инициировании электрического разряда в жидкой токопроводящей среде. При создании внутри объема жидкости кратковременного высоковольтного импульсного разряда возникают высокие гидравлические давления, сопровождающиеся целым комплексом физико-химических явлений, в совокупности образующих электрогидравлический эффект (ЭГЭ) [153]. ЭГЭ может быть использован в практических целях для интенсификации процесса посола мяса.

Научной базой для разработки технологии посола мясного сырья с использованием разрядно-импульсной обработки должна стать новая методология, учитывающая взаимное влияние энергетических полей, физико-химических эффектов, трансформацию и инверсию видов энергетического воздействия и их влияния на качество и безопасность мясного сырья и готовой продукции [125].

Работа выполнялась с 2011 года в рамках приоритетного направления развития науки, технологии и техники РФ «Наука о жизни», в соответствии с научным направлением СКФУ «Живые системы» и госбюджетными научно-исследовательскими работами. Часть исследований проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках выполнения базовой части государственного задания (2014/216).

**Степень разработанности темы.** Значительный вклад в изучение электрогидравлического эффекта и возможности его применения в промышленности внесли отечественные ученые Юткин Л.А. и Гольцова Л.И. Позже их последователями Гулым Г.А., Малюшевским П.П., Поздеевым В.А., Сытником И.А., Семкиным Б.В., Наугольных К.А., Akiyama H., Zuckerman H., Nahimira T., Lukes P. и др [37,55,87,96,118,133,138,157,207,208,212,213]. были описаны технологии электрогидравлического дробления материалов, штамповки металлов,

дезинфекции сред, экстрагирования растительного сырья, создания пенобетона, очистки отходов сельского хозяйства и т.д. Однако работы данных авторов посвящены частным исследованиям в области строительства, машиностроения, горного дела и, в меньшей степени, биотехнологии, не касаясь мясной промышленности и возможности интенсификации технологических процессов производства мясопродуктов.

Теоретические и практические основы в области интенсификации технологического процесса переработки мясного сырья с применением электрического тока, электромагнитных волн, акустических колебаний и высоких давлений заложены в трудах отечественных и зарубежных ученых: Брацихина А.А., Большакова А.С., Борисенко А.А., Борисенко Л.А., Жаринова А.И., Кудряшова Л.С., Куликова Ю.И., Лимоновым Г.Е., Лисицына А.Б., Рогова И.А., Volumar T., Dederer I., Devine C., Dikeman M., Hui Y. H., Jensen W.K. Lautenschlaeger R., Toepfl S., Toldra F. и др [20-25,27,58,65,81,82,162,163,168,176,185-187].

Тем не менее, закономерности совместного влияния нескольких физических факторов одновременно, как при разрядно-импульсной обработке, на свойства мясного сырья являются сложными и недостаточно изучены. Расширение знаний и практического опыта по использованию электрогидравлического эффекта в мясной промышленности позволит разработать новые технологии обработки мясного сырья для получения мясопродуктов с высокими показателями качества и безопасности.

**Цель и задачи исследований.** С учетом вышеизложенного, целью диссертационной работы является разработка научно обоснованной технологии интенсификации процесса посола за счет разрядно-импульсной обработки мяса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проанализировать и систематизировать научную, патентную и техническую информацию по теме исследований.

2. Провести компьютерное моделирование разрядно-импульсной обработки мяса согласно условиям эксперимента.
3. Провести исследование электрических и энергетических параметров разряда в модельной среде.
4. Изучить влияние разрядно-импульсной обработки на скорость диффузии и глубину проникновения соли в мышечную ткань.
5. Изучить влияние разрядно-импульсной обработки на микроструктуру мясного сырья.
6. Определить характер и степень влияния разрядно-импульсной обработки на структурно-механические и функционально-технологические свойства мясного сырья.
7. Изучить влияние термической обработки на показатели качества модельных образцов мясного сырья.
8. Провести исследование влияния разрядно-импульсной обработки на показатели качества готового продукта.
9. Дать оценку безопасности готового продукта.
10. Разработать нормативную документацию на новый вид продукта.
11. Провести опытно-промышленную апробацию.
12. Оценить экономическую эффективность разрабатываемой технологии.

**Научная новизна.** Научно обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования разрядно-импульсной обработки мяса в рассоле. Представлены результаты исследования влияния электрогидравлического эффекта на микроструктуру, структурно-механические и функционально-технологические свойства мясного сырья. Проведена атомно-силовая микроскопия волокон мышечной ткани. Выявлены закономерности влияния параметров обработки на исследуемые показатели качества мяса. Приведены результаты исследований

химического состава, структурно-механических и функционально-технологических свойств готовой продукции. Дана оценка микробиологической и химической безопасности готовой продукции.

Новизна разработанной технологии подтверждена патентом РФ на полезную модель № 126571 [106].

**Теоретическая и практическая значимость работы.** На основании анализа научной литературы проведена математическая оценка преобразования энергии при разряде в энергию ударной волны и парогазовой полости. С целью получения теоретических сведений об основных параметрах ударной волны и парогазовой полости была написана компьютерная программа «Уникальный импульс» на базе Borland C++, включающая в себя как вычислительный, так и графический модули.

В рамках стажировки в Институте Макса Рубнера (г. Кульмбах, Германия) по Программе развития СКФУ был разработан и реализован в настоящей работе метод определения коэффициента диффузии соли в мышечную ткань. Расчётно-аналитическим путем установлена математическая зависимость, адекватно описывающая влияние интенсивности разрядно-импульсной обработки на коэффициент диффузии соли в обработанную мышечную ткань (с применением собственноручно сконструированной установки). Проведен сравнительный анализ изменения коэффициента диффузии NaCl в мясное сырье при разрядно импульсной обработке и воздействии высоким гидростатическим давлением.

Разработана и утверждена техническая документация ТУ 9213-001-21990461-2015 «Продукты мясные варено-копченые «Уникум» на новый вид варено-копченого изделия из говядины, подвергнутого разрядно-импульсной обработке в процессе посола. Технология апробирована в производственных условиях мясоперерабатывающих предприятий ИП Поляков (г. Ставрополь), ЗАО «Пищевой комбинат «Хороший вкус» (г.

Екатеринбург) и ООО «Коровка» (с. Донское, Ставропольский край). Результаты опытно-промышленной апробации варено-копченого изделия из говядины подтвердили воспроизводимость разработанной технологии.

При финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках реализации госконтрактов по программам У.М.Н.И.К. Р.Ф. (Договор №4 от 01.06.2012, диплом представлен в Приложении Ф) и СТАРТ (Договор №254ГС1/7927 от 12.02.2015) проведены исследования электрических и энергетических характеристик разряда в растворах NaCl, подобраны оптимальные технические характеристики генератора импульсов тока, а также организована часть исследований по изучению влияния разрядно-импульсной обработки на физико-химические свойства мясного сырья и готового продукта. В процессе проведения НИОКР по теме исследования 01.12.2014 г. создано малое инновационное предприятие – Общество с ограниченной ответственностью научно-производственная фирма «Уникальный импульс».

Согласно свидетельству №1121235 от 03.12.2015 г. проект «Разработка инновационных ресурсосберегающих технологий и оборудования для интенсификации процессов переработки сырья при производстве мясных продуктов», созданный на основании приведенных в диссертационной работе исследований, внесен в реестр участников инновационного центра «Сколково». ООО НПФ «Уникальный импульс» присвоен статус резидента «Сколково» (Приложение X).

**Методология и методы исследований.** Методологической основой диссертации являются труды отечественных и зарубежных ученых в области исследования физико-химических свойств и безопасности мясного сырья и мясных продуктов.

При выполнении работы применялись стандартные, общепринятые методы для изучения химического состава, функционально-

технологических, структурно-механических, органолептических свойств, а также микробиологических показателей объектов исследований и безопасности сырья и готовой продукции. Используются также и оригинальные методы: определение коэффициента диффузии соли в мышечную ткань и атомно-силовая микроскопия пучков волокон исследуемых образцов с определением модуля упругости и коэффициента жесткости отдельных волокон.

Математическая обработка экспериментальных данных и их графическое представление, выполнены с помощью программ Microsoft Excel 2010, Statistica 10.0, MatLab 8.03, MathCad 15.0 portable, Mathsolution.

Компьютерное моделирование эксперимента осуществляли в среде программирования Borland C++.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

- результаты математического, компьютерного моделирования эксперимента и исследований электрических и энергетических характеристик разряда в растворах NaCl;
- результаты исследования влияния разрядно-импульсной обработки на коэффициент диффузии соли в мышечную ткань;
- результаты исследования влияния разрядно-импульсной обработки на микробиологические показатели модельных водных сред;
- результаты исследования влияния разрядно-импульсной обработки на физико-химические свойства рассола;
- результаты исследования влияния разрядно-импульсной обработки на микроструктуру мышечной ткани, структурно-механические и функционально-технологические свойства мясного сырья;
- результаты исследования влияния разрядно-импульсной обработки на показатели качества и безопасность готовой продукции;

**Степень достоверности** подтверждается 3-5-кратной повторностью экспериментов с применением стандартных методов исследований и

статистической обработки полученных данных; использованием современных поверенных приборов и оборудования, имеющих установленный предел отклонений; проведением опытно-промышленных испытаний разработанных технологий.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на внутривузовской научно-технической конференции «Вузовская наука - Северо-Кавказскому региону» (Ставрополь, 2010); международной онлайн-конференции «Virtual Conference: PhD-Research in FOOD SCIENCE and TECHNOLOGY at BOKU (Vienna) and NCFU (Stavropol)» (Ставрополь, 2013), внутривузовских научно-практических конференциях «Университетская наука – региону» (Ставрополь, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016), финальных этапах Стартап-Туров Сколково (Ростов-на-Дону, 2015; Екатеринбург, 2015), всероссийской стартап-конференции Startup village (Сколково, 2015), районного форума «Возможности и перспективы развития фермерского и сельского хозяйства» (п. Тазовский, Ямало-Ненецкий автономный округ, 2016), а также без очного участия на международных конференциях «Global Science and Innovation» (г. Чикаго, США, 2013), «European Science and Technology» (г. Мюнхен, Германия, 2013) и «Recent advances in food analysis «RAFA 2013»» (г. Прага, Чехия, 2013).

По материалам диссертационной работы опубликовано 36 печатных работ, в том числе 4 в рецензируемых журналах ВАК, 2 в журналах Scopus и 1 в журнале, входящем в базу Web of Science, получен патент на изобретение RU 126571 (Приложение У).

## ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1. Диффузионно-осмотические и фильтрационные процессы при посоле мясного сырья

Посол мяса, являющийся одной из основных операций в технологии производства мясных продуктов, проводят для достижения необходимых органолептических характеристик, торможения микробиологической порчи, созревания мяса, придания ему таких важных свойств, как липкость, пластичность, высокая влагоемкость [76]. В основе различных вариантов посола мясного сырья лежат три классических способа: сухой (сухой посолочной смесью), мокрый (рассолом) и смешанный. При любом способе посола происходит массообмен между посолочными веществами и растворимыми составными частями продукта в формирующейся системе «рассол-мясо». При сухом посоле, вначале, вследствие гигроскопичности соли и за счет влаги сырья, образуется рассол. В момент соприкосновения соли с поверхностью сырья между ними возникает обменная диффузия, которая приводит к перераспределению посолочных веществ, воды и растворимых компонентов продукта. Проникновение соли в ткань и перераспределение между тканью и рассолом происходит, по меньшей мере, двумя путями:

а) осмотически через мембраны и перепонки, покрывающие внешнюю поверхность обрабатываемого участка ткани;

б) через систему макро- и микрокапилляров, пронизывающих ткань во всех направлениях, с последующим перераспределением соли и воды между этой системой и клеточными элементами ткани.

При этом проникновение соли вторым путем происходит с большей скоростью [136]. При мокром посоле сырья перераспределение соли и воды складывается из трех одновременно протекающих процессов:

1. Перераспределения соли и воды в рассоле;
2. Перераспределения соли и воды между рассолом и продуктом;

### 3. Перераспределения соли и воды внутри продукта.

Все процессы перераспределения соли и воды происходят диффузионно-осмотическим путем. Кинетика процесса в изотропной среде описывается вторым законом Фика:

$$\frac{dc}{d\tau} = D \frac{d^2c}{dx^2}, \quad (1)$$

где  $c$  – концентрация диффузных веществ, %;

$\tau$  – длительность процесса, с;

$D$  – коэффициент диффузии веществ в воде, м<sup>2</sup>/с;

$\frac{d^2c}{dx^2}$  – градиент концентраций в направлении диффузии.

Однако, мясо является анизотропным композитным материалом, образованными объемным сочетанием химически разнородных коллоидных компонентов. В подобных телах коэффициент диффузии – функция кристаллографического направления. В этом случае  $D$  уже перестает быть «скаляром» и по своим геометрическим свойствам становится тензором, т.е. диффузия идет по каждой из координатной оси со своим коэффициентом диффузии  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$ . Согласно этому, для нестационарного процесса, протекающего в трех измерениях, скорость диффузии будет определяться усложненным уравнением Фика:

$$\frac{dc}{d\tau} = D \left( \frac{d^2c}{dx^2} + \frac{d^2c}{dy^2} + \frac{d^2c}{dz^2} \right), \quad (2)$$

где  $\frac{d^2c}{dx^2} + \frac{d^2c}{dy^2} + \frac{d^2c}{dz^2}$  – оператор Лапласа.

В гетерогенной системе рассол-мясо процесс распределения посолочных веществ зависит главным образом от величины сопротивлений, оказываемых диффузионному потоку тканями мясопродукта. Критерием процесса служит коэффициент проницаемости. Величина этого показателя зависит от конкретных условий посола: параметров рассола и свойств мясного сырья.

Как уже было отмечено, мышечная ткань обладает анизотропными свойствами: проницаемость ее вдоль мышечных волокон примерно на 11% выше, чем поперек волокон, что свидетельствует о перемещении посолочных веществ

преимущественно по межклеточному пространству ткани [112]. Другими словами, вдоль волокон коэффициент падения скорости диффузии меньше, чем поперек волокон. Коэффициент падения скорости диффузии также зависит от начального обводнения тканей и активности воды и существенно влияет на скорость распределения посолочных ингредиентов внутри мышечной системы.

Длительность процесса посола можно определить по уравнению Большакова А.С.:

$$\tau = \frac{dh^2}{D \lg \frac{c_p}{c_i}}, \quad (3)$$

где  $\tau$  – продолжительность посола (диффузии), сут;

$d$  – постоянная величина, равная 1,08;

$h$  – глубина проникновения посолочных веществ в продукт, м  
(для однородного сырья  $h=H/2$ , где  $H$  – толщина продукта, м)

$D$  – коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;

$c_p$  – концентрация веществ в рассоле, %

$c_i$  – концентрация веществ в рассоле в ткани на глубине  $h$ , %.

Теоретически скорость диффузии можно повысить путем увеличения температуры, концентрации раствора, кинетической энергии системы (чаще всего за счет перемешивания), либо изменения структуры сырья (разрыхление, деструкция, размораживание, электростимуляция, ферментная обработка и т.д.) [28]. Однако увеличение температуры рассола грозит опасностью развития нежелательных микробиальных процессов. Повышение концентрации соли в рассоле интенсифицирует обменную диффузию, но использование высоких концентраций хлорида натрия (14-25%) при длительном воздействии приводит к денатурации и высаливанию саркоплазматических белков, что сказывается на снижении ВСС и формировании более плотной консистенции в поверхностном слое [90].

Воздействия, ведущие к повышению проницаемости сарколеммы и мембранных структур мышечных волокон, обуславливают более быстрое и равномерное распределение в ней посолочных веществ. Изменение

проницаемости ткани в процессе посола связано с изменением структуры (разрыхлением) ткани и увеличением проницаемости тканевых мембран.

В условиях перемешивания основное сопротивление диффузионному потоку в рассоле оказывает диффузионный пограничный слой, лежащий на границе раздела системы рассол-продукт. Ускорение движения рассола и переход от ламинарного потока к турбулентному, влечет за собой уменьшение толщины этого слоя и увеличение скорости процесса посола [76]. Если рассол перемешивается искусственно, например, вследствие конвекции, перемещения продукта или по другим причинам, то диффузионный перенос соли в рассоле вытесняется молекулярным (конвективным) переносом. При интенсивности перемешивания, достаточной для быстрого выравнивания концентрации соли в рассоле, практически устанавливается концентрация близкая к средней [90]. В этом случае диффузионный перенос соли в рассоле будет иметь место только в пределах пограничного слоя, толщина которого зависит от скорости движения рассола. Различные градиенты концентрации устанавливаются в пограничном слое, между пограничным слоем и поверхностным слоем продукта и внутри продукта. При этом перенос соли из рассола в продукт при прочих одинаковых условиях осуществляется со скоростью, зависящей от интенсивности перемешивания.

Толщина пограничного слоя может колебаться в широких пределах. В состоянии полного покоя для системы рассол-продукт весь слой рассола приобретает свойства пограничного слоя. При интенсивном перемешивании его толщина уменьшается до незначительной величины [187]. Проведение посола в условиях активных физических (механических) воздействий: массажирования, тумблирования, вибрации, электромассажиования, позволяет значительно ускорить массообменные процессы. Это связано с тем, что переменное механическое воздействие вызывает наряду с диффузионным обменом интенсивное механическое перемещение рассола (и посолочных веществ), направленное к равномерному распределению их по объему продукта.

С. М. Липатовым дано решение дифференциального уравнения (1) для случая диффузии соли в биологических тканях [136]:

$$\ln \frac{C_1}{C_2} = k \frac{h_2^2 - h_1^2}{4D\tau}, \quad (4)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  — расстояния от поверхности тела, между которыми протекает диффузия, м;

$C_1$  и  $C_2$  — концентрации на расстояниях  $h_1$  и  $h_2$  от поверхности тела, %;

$\tau$  — продолжительность выдержки в рассоле, сут;

$k$  — коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение скорости диффузии при переходе из пограничного слоя в продукт.

При условии, если ход диффузии рассматривается на отрезке между поверхностью тела и точкой на глубине  $h$ , т. е., если  $h_1 = 0$ , уравнение (4) принимает вид:

$$\ln \frac{C_1}{C_2} = k \frac{h^2}{4D\tau}, \quad (5)$$

Уравнение (6) описывает распределение концентраций соли в мясе при мокром посоле.

Процесс распределения рассола и его компонентов в мышечной ткани в условиях механических воздействий подчиняется закону нестационарной фильтрации и описывается выражением:

$$\frac{dp}{d\tau} = \varepsilon \frac{d^2c}{dh^2}, \quad (6)$$

где  $p$  — давление, Па;

$\tau$  — длительность воздействия, с;

$\varepsilon$  — коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/с;

$h$  — глубина перемещения рассола, м.

Движущей силой процесса служит возникающий при механическом воздействии градиент давления, обеспечивающий интенсивный фильтрационный перенос рассола в тканях. При этом процесс посола можно характеризовать как диффузионно-фильтрационно-осмотический.

Таким образом, скорость протекания посола и интенсивность проникновения посолочных компонентов в продукт зависят от значений коэффициента диффузии  $D$  в системе «рассол-мясо» и коэффициента пьезопроводности  $\varepsilon$  тканей, которые чаще всего неизвестны. Изменение коэффициента диффузии в динамике посола до сих пор недостаточно изучено и обычно ограничивается математическим моделированием [10,136,152, 178,179,180]. Но и в этом случае нет единого подхода к решению задачи, что указывает на актуальность и перспективность исследований в области определения коэффициента диффузии посолочных веществ в мясное сырье при различных условиях.

## **1.2. Биохимические и микробиологические процессы, протекающие при посоле**

Введение в мясное сырье посолочных веществ оказывает существенное влияние на изменение коллоидно-химического состояния белков и развитие биохимических и микробиологических процессов.

### **1.2.1. Биохимические изменения основных компонентов мышечной ткани**

Изменения белковых компонентов при посоле мяса носят как количественный, так и качественный характер.

Количественные изменения связаны с миграцией белковых, экстрактивных и минеральных веществ в рассол. Переход белковых веществ в рассол связан с растворением гидрофильных фракций – альбуминов и глобулинов. Так как белковые вещества имеют относительно большие размеры, они не способны диффундировать через стенки клеток, т.е. их потери происходят через открытые поры и капилляры, а также клетки с поврежденными оболочками. В связи с этим величина потерь в известной мере зависит от полноты обескровливания мяса и

степени разрушения тканей. Белки соединительной ткани – коллаген и эластин – не переходят в рассол. Однако при длительном посоле коллагеновые волокна значительно набухают.

Более глубокие изменения претерпевают экстрактивные вещества мяса. Так, количество органических фосфорных соединений при длительном посоле уменьшается примерно вдвое в сравнении с первоначальным. Уровень потерь этих веществ, в первую очередь, зависит от концентрации рассола, жидкостного коэффициента, вида сырья, температуры, длительности выдержки сырья в контакте с рассолом, наличия предварительной механической обработки мяса, способа посола и т.п. [112].

Качественные изменения белковых веществ при посоле имеют принципиально важное значение, т.к. степень их развития предопределяет изменение уровня влагосвязывающей способности и нежности; оказывает непосредственное влияние на формирование вкусо-ароматических характеристик [90].

Жариновым А.И. [65] отмечается, что при посоле охлажденного мяса введение 6% хлорида натрия достаточно для создания в тканевой жидкости концентрации, близкой к оптимуму растворимости белков актомиозиновой фракции, что, в свою очередь, приводит к увеличению степени гидратации миофибриллярных белков. При этом количество адсорбционно-связанной влаги возрастает, что приводит к росту величины влагосвязывающей способности сырья.

Так как при посоле ионы соли диффундируют в мясо через мембраны клеток, диффузия подчиняется эффекту Доннана (Y.N. Hui et al., 2012). Суть этого эффекта состоит в том, что ионы низкомолекулярного электролита переходят через мембрану в сторону ионов высокомолекулярного электролита до тех пор, пока не установится мембранное равновесие Доннана – равенство произведения концентраций подвижных ионов по обе стороны мембраны. Другими словами, в клетках мышечной ткани имеются ионы, которые не могут диффундировать наружу из мембраны. При этом Габуда С.П. в своей работе [33] указывает, что

электрическое поле молекул воды, образующих клетку, может быть значительным и способно поляризовать белковую молекулу, либо удержать ее в одном из конформационных состояний с наибольшим дипольным моментом.

Однако согласно теории Поллинга, апеллирующей к особенностям взаимодействия веществ с водой, клетки покрыты тонкой пленкой связанной воды, называемой «гидратным микрокристаллом», за счет чего происходит адсорбционная связь с ионами соли [33].

В свою очередь, гидратация белков мяса при посоле происходит за счет пептизирующего действия соли, а также вследствие взаимодействия ионов  $Na^+$  и  $Cl^-$  с полярными группами белков. При этом важная роль принадлежит ионам хлора, так как они разрывают связи между пептидными цепями.

Белки представляют собой линейные полимеры аминокислот, содержащих амино-, алкил- и карбоксильную группы. Чаще всего в аминокислотах вместо одного из протонов алкильной группы фигурирует органический радикал, например, метил. Если не принимать в расчет радикалы алкильной группы, в белках на каждый остаток приходится два центра, способных связывать воду: атом кислорода карбоксильной группы – акцептор Н-связей и аминогруппа – донор Н-связей с молекулами воды. В свою очередь, доноры и акцепторы Н-связей на поверхности белковой молекулы играют фундаментальную роль: Н-связи обеспечивают определенную пространственную конфигурацию макромолекулы, существенную для ее функционирования. Тем не менее, часть адсорбционных центров может оставаться открытой для молекул воды. Присоединяясь к функциональным группам белковых макромолекул, ионы  $Cl^-$  и  $Na^+$  активно притягивают дополнительное количество диполей воды, в результате чего гидратация мышечных белков увеличивается. Присоединение ионов  $Cl^-$  к положительно заряженным центрам смещает изоэлектрическую точку белков в кислую сторону, повышая тем самым их влагосвязывающую способность и растворимость, сохраняющуюся при последующей тепловой обработке [98].

Таким образом, в процессе посола, за счет частичных денатурационных изменений белков вследствие разрыва внутримолекулярных связей между их пептидными цепями увеличивается количество адсорбционно связанной влаги. При этом в связывании влаги доминирующая роль принадлежит миофибриллярным белкам, разрывы пептидных цепей которых способствуют повышению их влагоудерживающей способности, что осуществляется в современных способах посола мяса.

Наряду с изменением коллоидно-химического состояния белков, хлористый натрий ускоряет окислительные процессы, в ходе которых накапливаются различные производные мышечного пигмента миоглобина, чем обуславливается цветовые изменения мышечной ткани при посоле, выраженные потерей естественной окраски и приобретением серовато-коричневого оттенка. В связи с этим в практике посола мясного сырья с целью предотвращения нежелательного изменения окраски применяют нитрит натрия (с 2011 года в виде нитритной соли). При использовании нитрита натрия в составе нитритной соли естественный пигмент мяса миоглобин переходит в нитрозоформу за счет присоединения  $\text{NO}^-$  к активному центру миоглобина – гему. В этом соединении ( $\text{NO}^- \text{Mb}$ ) нитрозогруппа довольно прочно связана с железом гема, что обеспечивает сравнительную устойчивость окраски соленого мяса, которая в сыром продукте обусловлена присутствием нитрозомиоглобина, а в вареном - нитрозогемохромогена, также имеющего красный цвет [147].

Интенсивность получаемой окраски мясных изделий зависит от количественного содержания мышечных пигментов в сырье, концентрации нитрита, реакции среды, температуры, активности ферментных систем, а также от окислительно-восстановительного потенциала.

### **1.2.2. Консервирующий эффект посола**

Известно, что поваренная соль подавляет развитие большинства микроорганизмов, в том числе и гнилостных. Это обусловлено высоким

осмотическим давлением растворов соли, приводящим к обезвоживанию протоплазмы микробных клеток, а также специфическим действием ионов натрия и хлора на ферментативную деятельность бактерий [90]. Кроме того, в растворах поваренной соли плохо растворяется кислород, необходимый для развития аэробной микрофлоры.

При больших концентрациях хлористый натрий способен задерживать микробиальную порчу мясных продуктов в течение длительного времени, однако для этого требуется использование 10-15% соли. Тем не менее, даже насыщенный раствор соли полностью не уничтожает микрофлору, поэтому с течением времени общее количество микроорганизмов, попавших в рассол с солью, сырьем или другим путем, увеличивается как в продуктах, так и в рассолах [112, 187]. Микрофлора рассолов имеет свою специфику, которая является результатом своеобразной селекции. Из общего количества бактерий, попадающих в рассол, выживают только те, которые способны развиваться в этих условиях. Среди микроорганизмов, встречающихся в заливочных рассолах, обычно преобладают микрококки, грамотрицательные палочки и молочнокислые бактерии [82, 202].

Размножение солеустойчивых микроорганизмов, а также приспособляемость некоторых гнилостных бактерий к высокой концентрации соли могут привести рассолы и соленые продукты к порче. Интенсивность развития микроорганизмов зависит от концентрации соли и белковых веществ в рассоле, т.е. она изменяется в результате обменной диффузии в процессе посола, увеличиваясь по мере уменьшения концентрации соли и увеличения концентрации белковых веществ в рассоле.

Характер влияния хлористого натрия на микроорганизмы свидетельствует о том, что он не обладает бактерицидным эффектом. Его действие сводится в основном к подавлению развития большинства микроорганизмов, что вызвано частично высоким осмотическим давлением в его растворах, которое вызывает большее или меньшее обезвоживание клеток микроорганизмов, изменение их размеров и формы и нарушение водного обмена. То есть использование соли в

большей мере имеет бактериостатический эффект. Консервирующий эффект посола усиливается в присутствии  $\text{NaNO}_2$ .

Нитрит оказывает бактерицидное действие на грамотрицательные палочки семейства кишечных бактерий, подавляет развитие сальмонелл и многих видов клостридий, и в частности на *Clostridium botulinum* [17,83]. Образующаяся при гидролизе нитрита азотистая кислота является энергичным окислителем ферментов микробиальных клеток. Бактерицидными свойствами также обладает продукт восстановления нитритов – гидроксилламин.

Несмотря на определенный консервирующий эффект, применяемые в практике посола концентрации соли не гарантируют полного прекращения жизнедеятельности микроорганизмов, вызывающих порчу продуктов с высоким содержанием влаги. Поэтому для стабилизации их свойств необходимы дополнительные физико-химические барьеры, такие как обработка ультрафиолетом, ультразвуком, высокими давлениями, генерирование кавитации и др, что является наиболее оптимальным решением на данном этапе развития мясоперерабатывающей отрасли.

### **1.3. Интенсификация процесса посола цельномышечного мясного сырья**

Возможности сокращения продолжительности посола при сохранении качества соленых мясных изделий с помощью классических диффузионно-осмотических процессов в настоящее время практически исчерпаны [28,81, 149]. В современных способах посола широко применяются различные приемы, сопровождающиеся макро- и микродеструктивными изменениями морфологического состояния мышечной ткани мяса. На сегодняшний день известны механические, физические, электрофизические, акустические и биохимические способы интенсификации процесса посола мясного сырья (рис. 1).

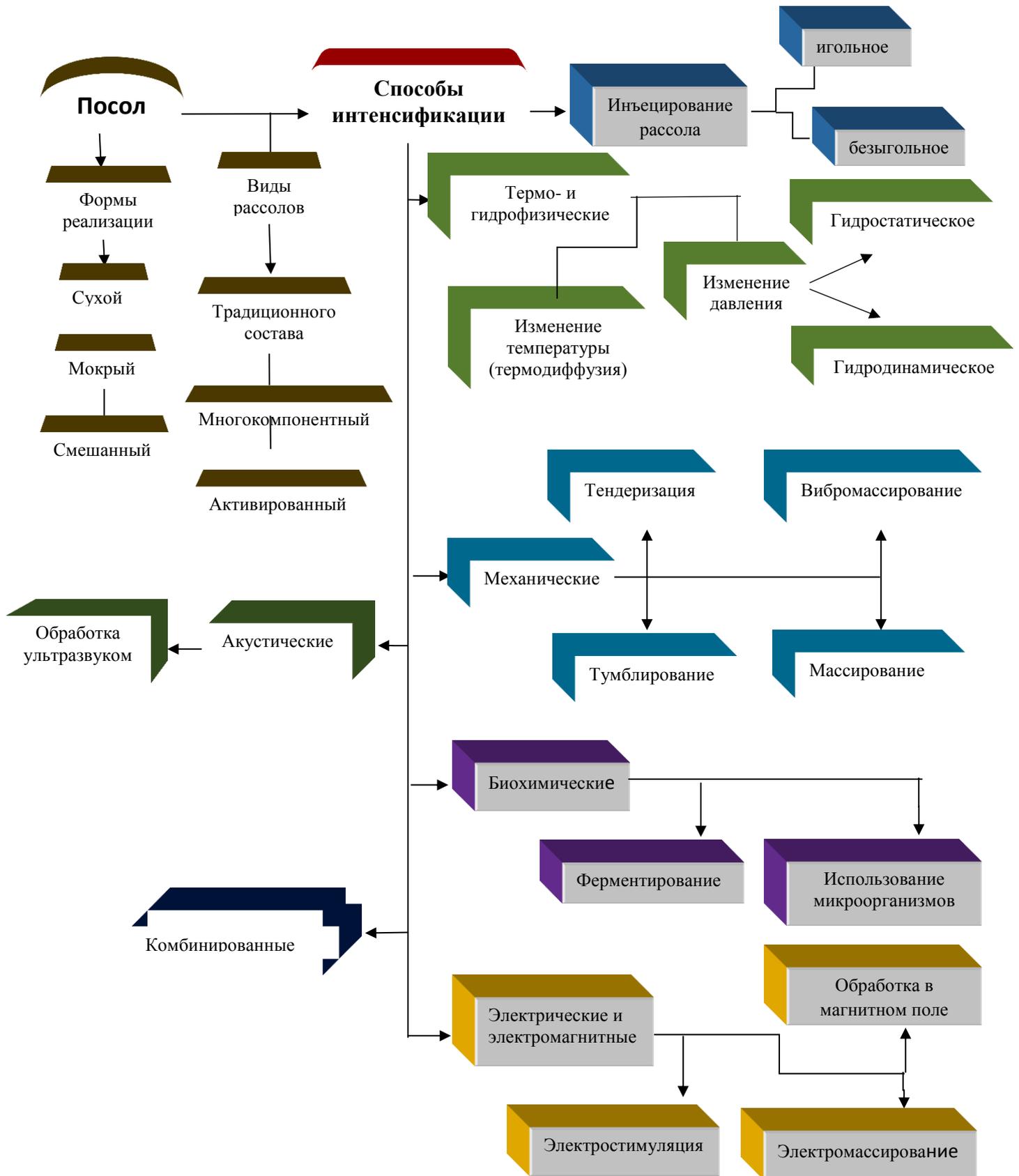


Рисунок 1 – Классификационная схема способов интенсификации процесса посола мясного сыра [25,28] (ред. автором)

При использовании механических способов (инъекцирование, тендеризация, тумблирование и массажирование) посола мяса проникновение посолочных веществ в объем обрабатываемого объекта ускоряется в основном за счет процессов снижения гидродинамического сопротивления обработанной мясной субстанции и эффекта «губки» (Кудряшов Л.С. и др., 2005). При этом дальнейшее внутримышечное распределение посолочных ингредиентов осуществляется диффузионным путем.

А.С. Большаковым, В.Г. Боресковым, Н.Н. Мизерецким и др. экспериментально доказано, что инъекция рассола в исходное мясное сырье значительно сокращает продолжительность посола, уменьшает потери белковых и других растворимых веществ мяса, повышает выход продукции после термической обработки [21,22,25]. В момент инъекцирования рассола в мясо посолочные вещества формируют в нем локальные зоны с повышенным давлением и, за счет принудительной фильтрации, распределяются по системе макро- и микрокапилляров.

Введение рассолов в мясное сырье возможно игольчатым, струйным способом и инъекцированием через кровеносную систему. Игольчатое инъекцирование применяют с использованием полых игл с острым наконечником и отверстием в стенке. При шприцевании через кровеносную систему применяют полую иглу с центральным давлением. Избыточное давление в обоих случаях составляет 0,2-1,0 МПа. Струйное инъекцирование осуществляется с помощью насадки, имеющей отверстие диаметром 0,1-0,3 мм, через которое рассол под высоким давлением (10-30 МПа) выходит в виде струй. Результаты исследований Борисенко Л.А. (1977 г) и Рыжова С.А. (1989 г) свидетельствуют о проникновении струй не только в межволоконное пространство, как при игольчатом инъекцировании, но и во внутрь мышечного волокна, что ускоряет распределение рассола и увеличивает выход готового продукта.

Инъекцирование существенно сокращает продолжительность диффузионно-фильтрационных процессов при посоле, однако требует определенной выдержки

сырья для достижения равномерного распределения рассола по всему объему сырья.

Для целенаправленной деструктурирующей механической обработки мясного сырья, имеющего высокое содержание соединительной ткани или грубых мышечных волокон, с целью изменения его макро- и микроструктуры также используют тендеризацию, заключающуюся в прокалывании или отбивании сырья. При этом происходит частичное разрушение соединительной ткани, разволокнение и разрыхление мышечной ткани, вследствие чего увеличивается их проницаемость для посолочных веществ, улучшается консистенция и повышается сочность готовых продуктов.

Специалистами Датского технического центра разработан способ тендеризации мясного сырья, при котором его подвергают обработке в машине, оснащенной роликовыми стержнями или неподвижными иглами [82]. Этот способ позволяет интенсифицировать процесс поглощения мясом рассола вследствие прокалывания окружающих мышцы фасции, что способствует также сохранению формы и сокращению потерь массы продукта при тепловой обработке.

Увеличение проницаемости сырья на практике часто осуществляется путем массажирующего или тумблирования мяса. Тумблирование представляет собой вид механической обработки, основанный на использовании энергии падения кусков мяса с некоторой высоты с сопровождающимися ударами друг о друга и о выступы и стенки ротационного аппарата при его вращении [28,81,107]. Движущей силой процесса является градиент давления, способствующий фильтрации рассола с поверхности кусков по системе пор и капилляров.

А.С. Большаковым и др. [20, 81] установлено, что при тумблировании процесс распространения давления рассола в мышечной ткани можно описать уравнением:

$$\frac{dp}{dt} = \varepsilon \frac{d^2p}{dr^2} + \frac{2}{F} * \frac{dp}{dr}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  – средний коэффициент эффективности пьезопроводности, м/с<sup>2</sup>;

t – время воздействия, с;

$r$  – расстояние от центра начальной зоны до конечной зоны, м;

$F$  – площадь соприкосновения, м<sup>2</sup>.

То есть перераспределение рассола в мышечной ткани при тумблировании происходит по законам нестандартной фильтрации, что значительно ускоряет процесс посола.

Доказано, что тумблирование целесообразнее применять для жесткого или мясокостного сырья. При этом костная ткань в процессе обработки выполняет роль дополнительного внутреннего массирующего органа.

Для более нежного сырья предпочтительнее применять массажирование. Массажирование основано на трении поверхности кусков сырья друг о друга и о внутренние стенки аппарата. Массажирование, как правило, протекает в более щадящих условиях, чем тумблирование и, следовательно, требует более продолжительной обработки.

В отечественной и зарубежной практике широко применяется массажирование и тумблирование мясного сырья под вакуумом (25-50 кПа), что позволяет интенсифицировать процесс посола за счет растяжения и утончения мембран и оболочек, увеличения диаметра микрокапилляров, удаления из сырья воздушных пузырьков. В совокупности это обеспечивает более равномерное и быстрое проникновение посолочных веществ в мясо [23,81,202].

Одним из современных направлений, позволяющих значительно интенсифицировать процесс посола, является использование колебательных и волновых эффектов – вибрации. Вибромассажирование мясного сырья получило широкое распространение в США, Германии и Австралии [81,186,187,202]. Согласно Большакову А.С. [20], проведение мокрого посола в сочетании с воздействием вакуума и вибрации дает возможность сократить продолжительность процесса на 30-40% и одновременно улучшить вкусовые и ароматические характеристики готового продукта.

Еще одним способом интенсификации процесса посола мяса является электромассажирование, предусматривающее воздействие электрических импульсов на предварительно инъецированное рассолом мясное сырье. Максимальный

эффект от электромассирования достигается при обработке парного мяса и обуславливается сокращением мышечных волокон, что способствует фильтрационному распределению инъецированного рассола в глубине мяса. W.K.Jensen и С. Devine установили, что эффективность электромассирования возрастает при сокращении времени между убоем и посолом, повышении напряжения тока и сокращении длительности электрического импульса [187]. Однако при большой востребованности в Новой Зеландии, Австралии, Германии, США и Канаде, широкого распространения в России данный метод не нашел.

Ускорения диффузионных процессов перераспределения посолочных ингредиентов также можно добиться воздействием ультразвуковых колебаний. В этом случае скорость проникновения посолочных веществ в мышечную ткань увеличивается в 2,5-3 раза по сравнению с классическим способом [158]. При этом в мышечной ткани наблюдается деструкция миофибрилл с образованием отдельных фрагментов, в результате чего повышается проницаемость мышечной ткани для посолочных ингредиентов. Однако больший эффект от применения ультразвуковой обработки в процессе посола мяса заключается в активации рассола, стабилизации его термодинамических характеристик (достижения агрегативной устойчивости) [123, 146].

В производстве цельномышечных изделий в основном используют многокомпонентные рассолы, являющиеся сложными дисперсными системами, позволяющими улучшить свойства мясного сырья. В их рецептуры, кроме посолочных веществ (хлорида натрия, нитрита, сахара), входят многочисленные функционально-технологические ингредиенты (фосфаты пищевые кислоты, каррагинаны, крахмалы, камеди, соевые белки и др.) [65].

Известно, что из-за самопроизвольного процесса укрупнения пузырей и их всплытия, а также самопроизвольной коагуляции мелкодисперсных частиц, многокомпонентные рассолы агрегативно неустойчивы. Следовательно, неизменные во времени параметры рассолов могут поддерживаться лишь в динамическом режиме. В настоящее время существует множество способов регулирования термодинамических характеристик рассолов, которые можно

разделить на реагентные и безреагентные. Реагентные способы связаны с внесением в систему специальных веществ – стабилизаторов. Безреагентные способы включают механические, электрофизические и акустические методы обработки рассолов. Ведущими специалистами в области практического применения активированных жидких систем А.А. Борисенко, Л.А. Борисенко и А.А. Брацихиным использован метод кавитационной дезинтеграции рассолов с целью интенсификации технологии посола мясного сырья [23,24,25,27,28]. Авторами установлено, что при кавитационной обработке раствора поваренной и нитритной соли существенным образом интенсифицируются процессы диссоциации солей на ионы, что ускоряет процесс посола. На данный момент активация дисперсных систем методом кавитационной дезинтеграции является наиболее перспективным решением вопроса о термодинамической стабильности рассолов при посоле мяса за счет снижения окислительно-восстановительного потенциала рассолов. Использование активированных посолочных рассолов на основе структурированной воды также может дать ощутимый технологический и экономический эффект при производстве цельномышечных мясопродуктов, что показано в диссертационной работе А.А. Брацихина [28].

В настоящее время в целях улучшения вкусовых качеств продукции и интенсификации технологического процесса посола используют культуры молочнокислых бактерий и микрококков, адаптированных к условиям посола. Так, сотрудниками ВНИИМПа (Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности) разработан метод ускоренного посола окороков с использованием определённых штаммов солеустойчивых молочнокислых бактерий (*L. plantarum*, *Str. lactis*), выделенных из рассолов [82]. Предложенный метод позволил интенсифицировать процесс посола окороков, в результате сокращения выдержки в рассоле.

Одним из наиболее перспективных направлений в области интенсификации технологических процессов переработки мясного сырья является создание и внедрение новых эффективных технологий, основанных на высоких давлениях. Использование гидростатических и гидродинамических давлений в технологии

переработки мясного сырья вызывает большой научно-практический интерес как в России, так и за рубежом.

Целью обработки мясного сырья высоким гидростатическим давлением является консервирование, изменение кинетики диффузионно-осмотического процесса, активация тканевых ферментов, изменение свойств белков и жиров и т.д. Гидростатическое давление при обработке может колебаться в диапазоне 100-1000 МПа. Учеными Института технологии и качества мяса «Max Rubner-Institute» (г. Кульмбах, Германия) внесен большой вклад в развитие науки по обработке мяса под высоким давлением [160, 207]. Результаты исследования I. Dederer, указывают на то, что высокое давление влияет на гидрофобные связи белков, оказывая воздействие на четвертичную и третичную структуру за счет обратимого развертывания белков [58,176]. Подобные изменения белковой структуры может способствовать повышению гидратации мышечных волокон при посоле. Установлено, что обработка под высоким давлением оказывает влияние на активность ферментов. При этом возможна частичная активация и регенерация активности ферментов, что в процессе хранения не исключает образования токсичных веществ. Однако в работах Heinz V, 2002, Fernandez G (2002 г.) токсичные соединения при обработке сырья высоким давлением не были обнаружены.

Согласно исследованиям ряда ученых [58,163,168,184,194], обработка продуктов под высоким давлением в пределах 150-800 МПа способствует отмиранию большинства вегетативных форм бактерий. Совместное действие высокого давления и температуры может способствовать деактивации вирусов, а также споровых форм микроорганизмов.

Высокое гидростатическое давление также может применяться с целью тендеризации мясного сырья. J. J. MacFarlane (1999) отмечает, что при пятиминутной обработке кусков говядины давлением в 100, 150 и 300 МПа наблюдается снижение жесткости мышечных волокон на 10, 20 и 60% соответственно, что, по мнению ученого, связано с дефрагментацией миофибрилл с частичными разрывами Z-линий саркомеров [208]. Таким образом, применение

высокого гидростатического давления может способствовать снижению жесткости мышечной ткани, повышению влагосвязывающей способности белков за счет их частичной денатурации, а также инактивации бактерий как в вегетативной (в большей степени), так и споровой (в меньшей степени) формах.

Мясное сырье также можно подвергнуть тендеризации и, по меньшей мере, частичной стерилизации с помощью шоковых ударных волн, возникающих при обработке гидродинамическим давлением.

Механизм воздействия ударных волн связан с рассеиванием энергии и механической нагрузкой на граничные зоны материалов, имеющих разную скорость распространения звука и акустический импеданс [162,169,200].

Изучение влияния ударных волн на дезинтеграцию биологических тканей с целью получения нежной структуры говядины, проводилось с 2008 по 2011 г. в DIL (Немецкий институт техники пищевых продуктов) и MRI (Институтом Макса Рубнера). В процессе исследований было выявлено, что механическая нагрузка, а также вторичные биохимические реакции вызывают ускоренное созревание мяса и сокращали продолжительность мокрого посола в два раза. После термической обработки мяса наблюдалось снижение усилия среза продукта. Сотрудники MRI Siegfried Münch и Stefan Toepfl обнаружили, что при обработке кусков говядины ударными волнами (2-4 кВт) нежность мяса повышалась на 12-20%, а выход обработанного сырья после семидневной выдержки в рассоле был выше, чем у контрольного на 18-24% [207]. Высокие гидродинамические давления также способствуют инактивации микроорганизмов, нарушая целостность их мембран. В диссертации P. J. Milly (2007) отражены результаты исследований по инактивации микроорганизмов в пищевых продуктах с помощью шоковых ударных волн. Согласно приведенным в работе данным, при обработке яблочного сока ударными волнами (300-350 кПа) наблюдалось сокращение численности *E. Coli* на 4 logКОЕ/г. Количество кишечной палочки в томатном соке было сокращено на 5 logКОЕ/г – равно как и при обработке молока.

Таким образом, обработка мясного сырья гидродинамическим давлением способна значительно повысить нежность мяса и выход сырья после посола.

Также ударные волны оказывают значительное влияние на жизнеспособность микроорганизмов, что может способствовать увеличению сроков хранения продуктов.

В настоящее время наиболее перспективными методами интенсификации технологии посола мясного сырья являются методы, основанные на импульсных энергетических воздействиях, сопровождающихся различными физико-химическими эффектами [125].

Импульсный подвод энергии к продукту вызывает не только количественные, но и качественные изменения процессов. Большой интерес представляет возможность аккумуляции во времени энергии, а затем ее выделение в чрезвычайно малые промежутки времени, что позволит, достигая высоких значений мгновенной мощности, создавать принципиально новые технологические процессы [60,125].

Одной из таких технологий может стать разрядно-импульсная технология посола мясного сырья, основанная на пробое кратковременного высоковольтного электрического разряда в рассоле, сопровождающегося целым комплексом физико-химических процессов, потенциально способных в совокупности повлиять на скорость и интенсивность процесса посола мяса.

#### **1.4. Теоретические и практические аспекты разрядно-импульсных технологий**

Документально установлено, что первые электрические разряды в воде были осуществлены около 240 лет назад. Однако возникающие при этом мощные гидродинамические импульсы не нашли практического применения в то время, в результате чего обнаруженный эффект был надолго забыт [102].

Позднее, по мере развития электротехники, при создании мощных высоковольтных установок вновь столкнулись с электрическими разрядами в жидкостях, используемых в этих установках в качестве диэлектриков.

Опыты с искровыми разрядами в жидкости проводились учеными еще в XVIII веке: Т. Лейном, Б. Франклином, Д. Пристли, но до конца результаты эксперимента не были осмыслены и не было понято огромное практическое значение исследованных явлений.

Разрушающее действие, возникающее при электрическом пробое диэлектрических жидкостей, сформировало устойчивое мнение о бесперспективности электрического разряда в жидкости. Многие десятилетия это мнение сохранялось среди ученых и инженеров-электриков [101].

В 1950 г. Л.А. Юткин предложил использовать в технологических процессах электрические разряды в жидкости, а точнее, возникающие при этом гидродинамические импульсы. Так был изобретен способ получения высоких и сверхвысоких давлений, который получил название электрогидравлического эффекта (ЭГЭ), или эффекта Юткина. При создании внутри объема жидкости специально сформированного импульсного высоковольтного электрического разряда вокруг зоны его образования возникает сложный комплекс физических и химических явлений: высокие и сверхвысокие гидравлические давления, кавитационные процессы, световое излучение канала разряда, ионизация и разложение молекул вещества в плазме канала и возле него, интенсивное ультрафиолетовое и ультразвуковое излучение, импульсное магнитное поле и т.д. В совокупности эти процессы образуют электрогидравлический эффект и приводят к самым разнообразным физико-химическим изменениям самой жидкости и тех объектов, которые находятся в ней [153].

Процесс пробоя электрического разряда протекает в три этапа: предпробойный, активный и пассивный [125,153]. Предпробойный этап начинается с момента подачи напряжения на электроды и завершается электрическим пробоем жидкости, а также возникновением нитевидных светящихся образований – стримеров. Визуально стримеры растут от положительного электрода к отрицательному (фактически – из объема жидкости в положительный электрод). Рост стримеров сопровождается появлением тока в стримерном канале (рис. 2). Для этого этапа характерно отсутствие явных

значительных механических изменений в системе, однако действует быстро нарастающее мощное электромагнитное поле. Как только один из стримеров достигает второго электрода, предпробойный этап заканчивается.

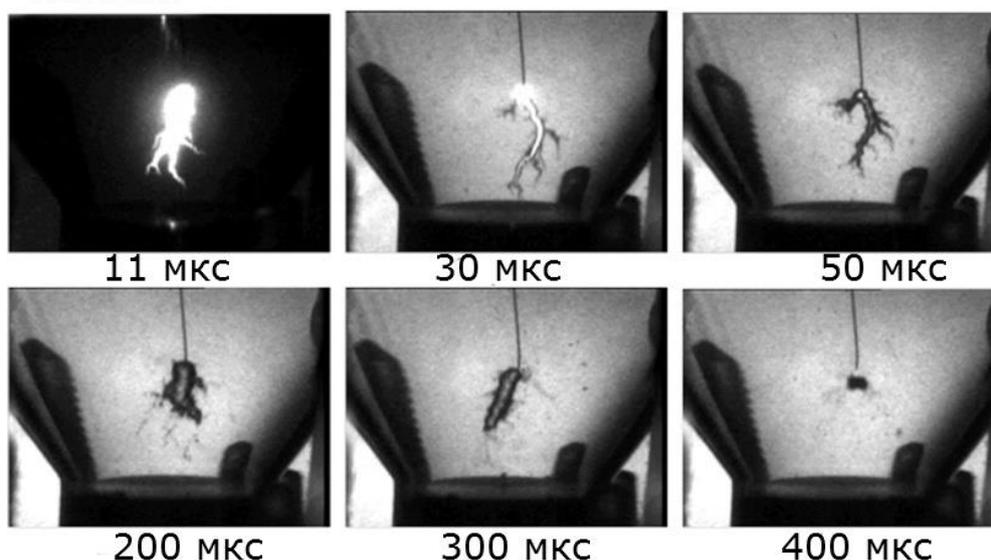


Рисунок 2 – Процесс образования и роста стримеров на предпробойном этапе разряда

Активный (канальный) этап характеризуется превращением одного из стримеров в плазменный канал, обладающий высокой проводимостью. В активном этапе выделяю три стадии: переднего фронта волны, заднего фронта волны и последующих полуволн.

На стадии переднего фронта волны в канал стримера устремляется вся накопленная в конденсаторах энергия. В результате быстрого выделения большого количества энергии (порядка  $10^3$ - $10^4$  Дж) происходит как нагрев вещества в канале до температур порядка  $10^4$  °К, так и расширение канала со скоростью от десятков до сотен метров в секунду. В результате такого расширения в жидкости возникает и распространяется интенсивное гидродинамическое возмущение, носящее характер волны сжатия с разрывом на фронте (рис. 3). Одновременно нарастает звуковое излучение без возникновения кавитационных процессов. Световое излучение достигает максимума во всем диапазоне частот, свойственных данному режиму.

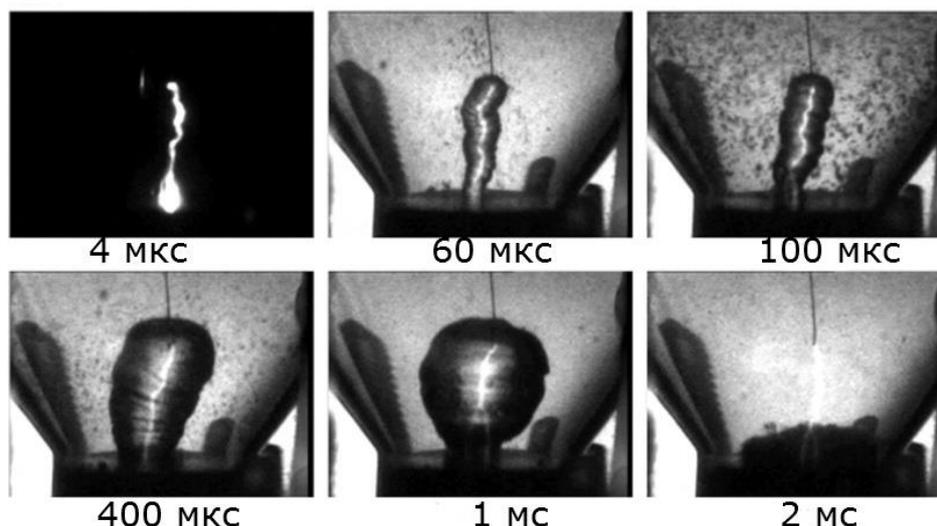


Рисунок 3 – Формирование канала разряда

На стадии заднего фронта волны канал разряда переходит в парогазовую полость (ПГП). Обычно полость совершает несколько пульсаций, которые служат источником дополнительных гидродинамических возмущений. Давление при этом начинает резко падать, тогда как перемещения жидкости достигают максимальной скорости; начинается образование кавитирующего кольца. Звуковое излучение уменьшается, тогда как кавитационные процессы растут.

На стадии последующих полувольт в колебательном контуре возникает не более двух-трех полувольт затухающих колебаний. Давление продолжает падать, испытывая флуктуации, а кавитационные процессы в кавитирующем кольце достигают максимума с постепенным убыванием в связи с резким ослаблением звукового излучения. Световое излучение также интенсивно затухает. Канальный этап завершается с прекращением тока и переходит в пассивный этап.

На пассивном этапе давление, как и перемещение жидкости, практически исчезает. Кавитационные процессы также затухают. Стадия характеризуется быстро протекающими рекомбинационными процессами.

Таким образом, трансформация электрической энергии в работу совершается, в основном, в интервале стадий переднего и заднего фронта, захватывая конец предпробойного этапа и начало стадии последующих полувольт.

Так как в момент пробоя межэлектродного промежутка образуется канал разряда, где за десятитысячные доли секунды преобразуются десятки

килоджоулей электрической энергии, возникает проблема с источником электроэнергии, так как такие энергии взять из обычной энергосети без ущерба для других потребителей электричества невозможно. Данная проблема была решена Л.А. Юткиным, который создал специальное оборудование – генераторы импульсов тока (ГИТ), позволяющие в течение некоторого времени без всякого ущерба для энергосети накапливать требуемую для электрического разряда энергию [153, 154].

В настоящее время электрогидравлический эффект нашел широкое применение в строительстве, машиностроении, металлургии и даже медицине в России, Швеции, Испании, Венгрии и Японии.

Основные направления применения ЭГЭ в промышленности: различные виды очистки, снятие внутренних напряжений, штамповка, сварка, электрогидравлические молоты и вибраторы, электрогидравлические насосы, дробление и измельчение, (де)эмульгация, обеззараживание, электроимпульсное уничтожение сорняков, электроразрядное экстрагирование и т.д. [35,66,138].

В последнее время в этой области появились новые разработки, пользующиеся высоким научно-практическим интересом в различных отраслях. Так, Л.В. Сериков и Л.Н. Шиян (2008) предлагают производить деструкцию органических веществ в растворах с помощью импульсных разрядов [134]. Борисов А.Г. и др. (2006) разработали технологию электроразрядного экстрагирования целевых компонентов из растительного сырья. Н. Akiyama, Т. Sakugawa и Т. Namihira (2007) предлагают различные способы очистки и обеззараживания воды в промышленных условиях. Головинов Н.В. (2010) разработал технологию электрогидравлической обработки отходов мукомольного производства [35]. Жуковой Е.М. (2008) в [66] были изучены возможности регулирования физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов с помощью высоковольтного электрогидравлического разряда.

Возможные пути использования электрогидравлического эффекта в строительстве, металлургии и горном деле были описаны Л.А. Юткиным еще в 1985 г. [153] и нашли широкое практическое применение в России и за рубежом, а

также являются базой для разработок новых и усовершенствования классических технологических процессов.

Использование электрогидравлического эффекта в пищевой промышленности является относительно новым направлением. Однако ввиду многофакторности ЭГЭ можно предположить, что разрядно-импульсные технологии в пищевой промышленности перспективны с точки зрения интенсификации технологических процессов и имеют большой потенциал реализации, так как на сегодняшний день еще не изучены в полной мере.

### **1.5 Математическая модель электрогидравлического эффекта**

Электрогидравлический эффект представляет собой специфический процесс преобразования энергии электрического разряда в жидкости в энергию ее механического движения.

Процессы проектирования и эксплуатации установок, в которых используется ЭГЭ, предполагают возможность определения гидродинамических параметров ударной волны и гидротока по известным характеристикам разрядного контура.

Однако в связи с недостаточной изученностью процессов, происходящих при электрическом разряде в жидкости, и сложностью их математического описания отмечается отсутствие единой общепризнанной методики определения этих параметров [95].

Это объясняется особым путем внедрения электрогидравлических методов в промышленность (в основном эмпирическим методом), вследствие чего многие важные вопросы остались неизученными.

Инициирование разряда осуществляется путем пробоя межэлектродного промежутка в жидкости под действием электрического напряжения, возникающего на электродах при разрядении конденсаторов.

Рассол, в котором предполагается пробой высоковольтного электрического разряда, является трансформатором энергии, выделившейся в канале. Импульсное

выделение электрической энергии в последнем, благодаря малой сжимаемости жидкости, приводит к росту давления в плазме. Высокое давление формирует и распространяет в окружающей среде интенсивные возмущения. Следует отметить, что с гидродинамической точки зрения электрический разряд в рассоле, как в проводящей жидкости, можно рассматривать как процесс нестационарного расширения непроницаемой полости.

К.А. Наугольный и Н.А. Рой (1971 г.) выявили, что энергия, выделяющаяся в канале разряда, в основном расходуется на работу, совершаемую каналом при расширении (около 50%). Причем работа подразделяется на энергию волн сжатия, излучаемую на стадии разряда (до 40%), и на энергию пульсации парогазовой полости (до 60%), которая постепенно расходуется на излучение волн сжатия и приводит к образованию кавитации. Л.А. Юткин в своих работах [37,153] упоминал, что энергия светового излучения составляет около 10% от энергии разряда и распределяется на ультрафиолетовые лучи (до 90%), видимые лучи (до 8%) и инфракрасные лучи (около 2%). На ультразвуковое излучение тратится до 20% энергии разряда. Потери энергии могут составлять от 10 до 15% процентов от суммарного баланса. Остальная часть энергии расходуется на генерацию электромагнитных полей и прочих видов излучений.

Энергетический баланс электрогидравлического эффекта можно представить в виде диаграммы:

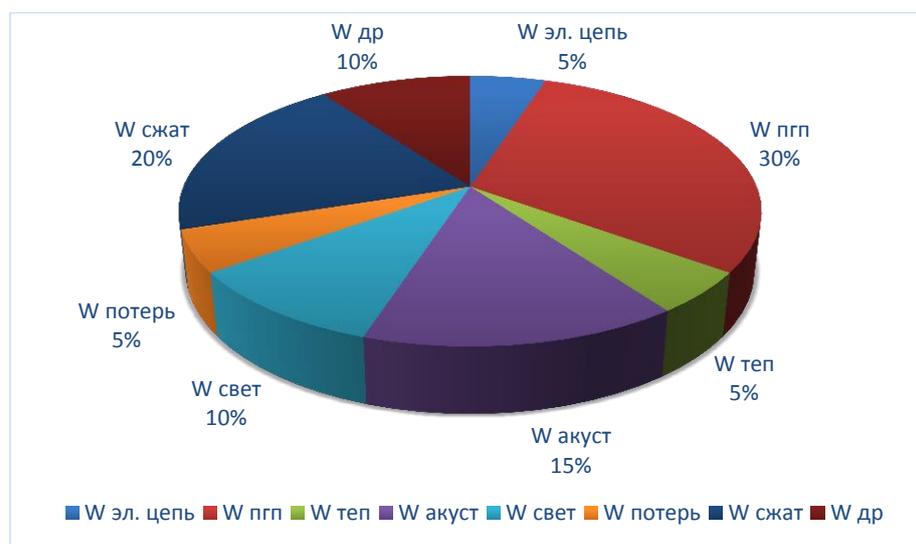


Рисунок 4 – Энергетический баланс ЭГЭ:

$W_{\text{эл.цепь}}$  – потери энергии в электрической цепи,  $W_{\text{ПГП}}$  – энергия пульсации парогазовой полости,  $W_{\text{теп}}$  – потери энергии на теплопроводность системы,  $W_{\text{акуст}}$  – энергия акустических колебаний,  $W_{\text{свет}}$  – энергия светового излучений,  $W_{\text{потерь}}$  – энергия потерь в парогазовой полости,  $W_{\text{сжат}}$  – энергия импульса сжатия,  $W_{\text{др}}$  – другие виды энергии.

Таким образом, основная часть энергии разряда трансформируется в ударные волны и расходуется на пульсацию парогазовой полости (ПГП).

Вблизи канала разряда вследствие высокого давления на формирование возмущения сильно влияют нелинейные эффекты, которые могут привести к увеличению крутизны волны сжатия и привести к образованию ударной волны. Для учета нелинейных эффектов необходимо использовать полные уравнения гидродинамики.

### 1.5.1. Преобразование энергии разряда в энергию ударной волны

Исходная система уравнений, описывающих начальный процесс образования канала разряда, может быть представлена в виде, полученном А.И. Иоффе (1968):

Уравнение электрического контура:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + \frac{\rho_0 \delta}{L_K S} \left(\frac{p}{nk}\right)^{-\frac{3}{2}} \left(\frac{dU}{dt}\right) + \frac{U}{L_K C} = 0, \quad (8)$$

Уравнение баланса энергии, правая часть которой представляет мощность, вводимую в канал разряда, представляет вид:

$$\frac{S}{\gamma-1} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{P\gamma}{\gamma-1} \frac{dS}{dt} = \frac{a_0^2 \rho_0 10^7}{S} \left(\frac{dU}{dt}\right)^2 \left(\frac{P}{nk}\right)^{-\frac{3}{2}}, \quad (9)$$

Уравнение потока частиц описывается следующим выражением:

$$\frac{d(nS)}{dt} = \frac{2\pi^{\frac{3}{2}} \delta T^4 S^{-\frac{1}{2}}}{\omega}, \quad (10)$$

В этом случае уравнение для оценки величины давления в канале разряда запишется в виде:

$$P = \frac{\rho}{2\pi} \frac{d^2 S}{dt^2} \ln \left( \frac{\pi^2 \sigma}{s^2} \right) - \frac{\rho}{8\pi} \left( \frac{dS}{dt} \right)^2, \quad (11)$$

где  $U$  – напряжение на емкости, В;

$L_k$  – индуктивность цепи разряда, Гн;

$S$  – площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>;

$r_0$  – начальный радиус канала разряда, м;

$a_0$  – начальная длина канала разряда, м;

$n$  – число электронов, определяемое из уравнения Саха,

$\omega$  – удельная энергия испарения на одну молекулу, Дж/мол;

$T$  – температура в канале, К;

$\sigma$  – проводимость плазмы =  $(1,2-1,7) \cdot 10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ ;

$\rho_0$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$k$  – константа Больцмана =  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ .

При начальных условиях  $t=0$  напряжение на емкости  $U(0) = U_0$ , ток  $I(0) = I_0$ ,  $\frac{dU}{dt} = 0$ , так как  $I = C \frac{dU}{dt}$ , где  $C$  – емкость конденсатора, Ф; площадь поперечного сечения равна эквивалентному диаметру проводника, стабилизирующего разряд,  $\frac{dS}{dt} = 0$ , температура  $T = 10^4 \text{ К}$ ,  $n = 10^{19}$ .

Для оценки начальных параметров плазмы и силового поля используем аппроксимационные зависимости, полученные в работах В.В. Арсентьева [8]:

для начальной скорости расширения канала разряда

$$v_n = 7,9 \cdot 10^{-2} (N/\delta)^{1/4}, \quad (12)$$

для начальной температуры плазмы

$$T = 56(N/\delta)^{1/6}, \quad (13)$$

для начального давления на фронте ударной волны

$$P_\phi = 6,4(N/\delta)^{1/2}, \quad (14)$$

для начальной скорости фронта ударной волны

$$v_\phi = 7,5 \cdot 100 (1 + (1 + 4,4 \cdot 10^{-8} (N/\delta)^{1/2})), \quad (15)$$

для КПД преобразования энергии разряда в энергию ударной волны

$$\eta_a = \frac{1,6 \cdot 10^{-21} (N/\delta)^{\frac{1}{6}}}{4,3 \cdot 10^{-19} + 3,9 \cdot 10^{-21} (N/\delta)^{\frac{1}{6}}}, \quad (16)$$

После преобразования получим

$$\eta_a = \frac{0,41 (N/\delta)^{\frac{1}{6}}}{(N/\delta)^{\frac{1}{6}} + 110}, \quad (17)$$

где  $\delta$  – расстояние между электродами, м;

$N$  – мощность, вводимая в канал разряда, Вт;

$N/\delta$  – скорость выделения мощности в канал разряда, Вт/м.

Согласно уравнению (17), мощность, вводимая в канал разряда, определяется соотношением:

$$N = \frac{r_0^2 \rho_0 10^7}{s} \left( \frac{dU}{dt} \right)^2 \left( \frac{P}{nk} \right)^{-\frac{3}{2}}, \quad (18)$$

С другой стороны, так как на первом этапе пробоя разряда энергия в основном расходуется на формирование канала разряда, мощность электроимпульсного разряда может быть определена соотношением:

$$N = I^2 R_k, \quad (19)$$

где  $R_k$  – сопротивление канала разряда.

Ток разряда можно определить при решении системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dU}{dt} = -\frac{I}{C} \\ \frac{dI}{dt} = \frac{U - IR}{L} \end{cases}, \quad (20)$$

Энергия, выделившаяся в канале разряда, определяется по току и напряжению в рабочем промежутке

$$E(t) = \int_0^t IU dt \quad (21)$$

Согласно Поздееву В.А. [118], давление в канале разряда для случая сферической симметрии может быть выражено из геометрических параметров канала разряда:

$$P = \frac{\rho_0 V}{4\pi r} - \frac{1}{2} \rho_0 \frac{V^2}{16 \pi^2 r^4}, \quad (22)$$

где  $r$  – конечный радиус канала, м

$V$  – объем сферы =  $\frac{4}{3} \pi r^3$ , м<sup>3</sup>

При этом работа расширения канала разряда будет равна

$$A = \frac{\rho_0}{8\pi r V^2}, \quad (23)$$

а внутренняя энергия плазмы в канале определится по формуле

$$E_B = \frac{PV}{\gamma-1}, \quad (24)$$

где  $\gamma = 1,25 - 1,26$  – эффективный показатель адиабаты.

Сумма их работы и внутренней энергии плазмы равна энергии, выделившейся в канале в данный момент времени в форме джоулева тепла, т.е. практически равна энергии, подведенной к каналу.

$$E_B + A = E(t), \quad (25)$$

Как описано в [95], подстановка  $E_B$  и  $A$  и переход к безразмерным величинам  $x = t/\tau$ ,  $f(x) = E(t)/E_B$ ,  $y=r/r_0$  приводят задачу к решению уравнения ( $t$  – текущее время,  $\tau$  – нормированное время,  $E(t)$  – текущее значение энергии,  $r_0$  и  $r$  – начальный и конечный радиусы разряда)

$$y^2 = \frac{d\left(y^2 \frac{dy}{dx}\right)}{dx} = f(x), \quad (26)$$

К.А. Наугольный и Н.А. Рой (1971) в ходе экспериментальных исследований [96] выявили, что начальный радиус канала  $r_0$  эквивалентен  $10^{-2}$  см. Задача становится корректной, если задан закон выделения энергии  $f(x)$ . Нормированная функция выделения энергии выведена Гавриловым Г.Н. (1991) и представлена на рисунке 5.

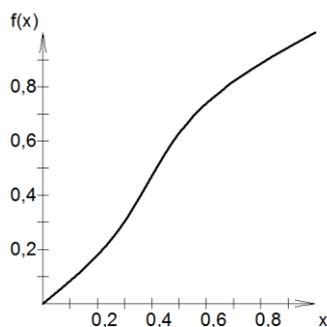


Рисунок 5 – Изменение функции  $f(x)$  режима выделения энергии при электрическом разряде в жидкости

Решение уравнения (26) позволит произвести расчет давления в канале разряда и в волне сжатия на различном расстоянии  $l$  от оси канала.

Давление канала разряда будет иметь зависимость:

$$P = a^3 \rho_0^{\frac{2}{5}} E^{\frac{3}{5}} \tau^{-\frac{6}{5}} \left( \frac{f(x)}{y^3} - \frac{1}{2} \frac{z^2}{y^4} \right), \quad (27)$$

где параметр  $z = y^2 \frac{dy}{dx}$

Давление в волне сжатия на расстоянии  $l$  от оси канала может быть найдено по формуле:

$$P = \frac{a^3 \rho_0^{\frac{2}{5}}}{l} E^{\frac{3}{5}} \tau^{-\frac{4}{5}} \frac{f(x)}{y^2}, \quad (28)$$

Согласно Титкову В.В. [140], оценка максимального давления в волне сжатия может быть выполнена по выражению

$$P_{max} = 10^4 \frac{1}{l} \left( \frac{CU^6}{L^2} \right)^{\frac{1}{5}}, \quad (29)$$

где  $C$  – емкость конденсатора, Ф;  $U$  – напряжение на емкости, В;  $L$  – индуктивность, Гн.

Из приведенной в [118] зависимости следует, что акустический КПД ударной волны определяется, в основном, величиной  $E/(c_0 \tau^2)$ , являющейся удельной скоростью нарастания электрической мощности, отнесенной к длине волны. Изменение этой величины слабо зависит от величины энергии и возрастает с уменьшением времени выделения энергии.

### 1.5.2. Преобразование энергии в парогазовой полости

Выделенная энергия в канале в канале разряда способствует повышению в нем давления, что приводит к быстрому расширению канала разряда с излучением волны сжатия и последующего образования ПГП.

В процессе расширения давление в ПГП падает вплоть до значений значительно ниже гидростатического, т. к. расширение происходит за счет инерционного движения жидкости. При падении скорости расширения ПГП она

начинает схлопываться, а окружающая ее жидкость меняет направление своего движения на противоположное. Такие пульсации ПГП в зависимости от энергии импульса при единичном разряде в жидкости могут происходить несколько раз, энергетика которых будет уменьшаться с каждой пульсацией [118].

В.И. Курец и др. (2012) описали динамику развития ПГП с помощью уравнения Бернулли для нестационарного случая:

$$\frac{P}{\rho_0} + \frac{u^2}{2} + \frac{d\varphi}{dt} = \text{const} \quad (30)$$

где  $u$  – гидродинамическая скорость,  $\varphi$  – потенциал скоростей.

Канал разряда в виде сферы в начальный момент времени  $t = 0$  начинает расширяться по закону  $r(t)$ . Выражение для скорости и потенциала скорости перемещений жидкости при условии несжимаемости воды определим как:

$$u = \frac{r^2 * r'}{b^2}, \quad (31)$$

$$\varphi = -\frac{r^2 * r'}{b^2}, \quad (32)$$

где  $b$  – радиальная координата,

$r'$  – первая производная изменения радиуса по времени.

При условии  $b \approx r$ , получим выражение для давления внутри пузыря  $P$ , расширяющегося по заданному закону:

$$P = P_0 + \rho_0 \left( \frac{3r'^2}{2} + r * r'' \right), \quad (33)$$

где  $P_0$  – внешнее гидростатическое давление.

Закон сохранения энергии в процессе расширения полости, согласно Курец В.И. [78], можно записать в виде:

$$2\pi\rho_0 r^3 r'^2 + 4\pi P \frac{r^3}{3} + E_B(r_0) = 4\pi P \frac{r_1^3}{3} + E_B(r) = E \quad (34)$$

где  $E_B(r_0)$  внутренняя энергия полости в начальный момент времени

$E_B(r)$  – внутренняя энергия полости при максимальном радиусе сферы,

$E$  – начальная энергия пузыря,

В течение большей части периода пульсации вследствие быстрого уменьшения давления в полости с увеличением ее радиуса относительная доля

внутренней энергии в уравнении (21) невелика и ею можно пренебречь. Тогда получим:

$$2\pi\rho_0 r^3 r'^2 + 4\pi P \frac{r^3}{3} = E, \quad (35)$$

В момент максимального расширения пузыря скорость движения его поверхности обращается в 0, поэтому из выражения можно выразить величину максимального радиуса через полную энергию пульсаций:

$$4\pi P \frac{r^3}{3} = E, \quad (36)$$

Исключая  $E$ , получим уравнение Рэлея для захлопывания полости под действием гидростатического давления:

$$r'^3 = 2P_0 \frac{r^3 - r_0^3}{3\rho_0}, \quad (37)$$

При этом максимальный радиус полости можно оценить по формуле [78]:

$$r_{\max} \approx 0,62 \left( \sqrt[3]{\frac{E}{P_0}} \right), \quad (38)$$

Интегрирование уравнения (20) приводит к определению величины пульсации ( $\tau$ ). В. И. Курец и др. в процессе вычислений получили соотношение

$$\tau \approx 1,83r \left( \frac{\rho_0}{P} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (39)$$

Согласно уравнению Виллиса [95], период пульсации пузыря может быть выражен через его энергию:

$$\tau \approx \frac{1,14\rho_0^{1/2} E^{1/3}}{P^{5/6}}, \quad (40)$$

Зная период пульсаций, можно определить максимальную скорость расширения парогазовой полости, достигаемой за время, равное одной четверти периода пульсации:

$$u_{\max} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{2P}{3\rho_0}}, \quad (41)$$

где  $P$  – давление внутри ПГП.

Таким образом, решение описанных уравнений позволит дать приблизительную оценку трансформации энергии разряда в ударную волну и пульсацию парогазовой полости при установленных электрических режимах разрядно-импульсной обработки и заданных величин длины межэлектродного промежутка и плотности обрабатываемой среды. С помощью полученной информации об энергетических и механических параметрах разряда появится возможность спрогнозировать качественные и количественные изменения, вызванные в обрабатываемом объекте.

### **1.6. Перспективы использования разрядно-импульсной обработки для интенсификации процесса посола цельномышечного сырья**

Импульсный подвод энергии к продукту способен вызвать не только количественные, но и качественные изменения процессов, что особенно специфично для электрофизических методов [125]. Большой интерес представляет возможность использования разрядно-импульсных технологий в технологическом цикле производства цельномышечных мясопродуктов. Аккумулирование энергии и ее мгновенное выделение посредством электрического разряда позволяет достичь высоких значений мгновенной мощности и интенсифицировать химико-технологические процессы.

Так, например, ударные перемещения жидкости, возникающие при развитии и схлопывании кавитационных полостей, способны деструктурировать или вызывать пластические деформации объектов, помещенных вблизи зоны разряда. Мощные ультразвуковые колебания, сопровождающие электрогидравлический эффект, дополнительно диспергируют уже измельченные материалы, вызывают резонансное разрушение крупных объектов на отдельные составляющие части, осуществляют интенсивные химические процессы синтеза, разрыва сорбционных и химических связей. Электромагнитные поля разряда также оказывают мощное влияние как на сам разряд, так и на ионные процессы, протекающие в окружающей его жидкости [153]. Изменяется окислительно-

восстановительный потенциал воды, а так же могут происходить разнообразные физические и химические изменения в обрабатываемом сырье. Ультрафиолетовое излучение губительно влияет на микрофлору обрабатываемой среды.

Образование кавитационных пузырьков происходит уже на начальной стадии формирования электрического разряда, практически с момента его зажигания, и является результатом взаимодействия ударных волн.

При генерировании кавитации в рассоле образуются гигантские импульсы давления, которые распространяются в нем со скоростью звука и вызывает соответствующие ему деформации. Трансформация потенциальной энергии этих деформаций реализует надтепловой механизм разрушения молекулярных ассоциатов. При этом вода переходит в термодинамически неравновесное состояние, а растворенная в ней поваренная соль полностью диссоциирует на ионы, которые будут иммобилизованы полярными мономолекулами воды, либо прочно связаны в образующихся сольватных оболочках белков мяса [28]. Это приводит к увеличению содержания связанной воды и возрастанию пассивного и активного транспорта ионов в примембранной области.

Кавитационные воздействия схлопывающихся пузырьков, возникающие при электрогидравлическом ударе, позволяют интенсифицировать многие технологические процессы, протекающие в жидких средах. Прежде всего это относится к массообменным процессам, когда за счет схлопывания кавитационных пузырьков образуются кумулятивные микро-струи и микро-вихри с большой плотностью энергии.

Таким образом, разрядно-импульсная обработка жидкости и объектов, помещенных в нее, является мощным высокоэффективным технологическим воздействием с широким спектром возможного применения. Использование данного вида воздействия позволит усовершенствовать существующие и создавать новые технологии получения различных пищевых продуктов.

В мясной промышленности уже были предприняты попытки использования высоковольтных электрических разрядов в технологическом процессе производства мясопродуктов – Антуфьев В.Т и др. (2007) предлагают

технологии приготовления мясных полуфабрикатов, в которой предусматривается для разрыхления межмышечной соединительной ткани использовать эффект электрогидравлического удара. В основе этой технологии используется способность искры, возникающей в толще мяса, разрушать коллагеновые волокна, оболочки клетки, а при необходимости – хрящи и другие прочные части мяса [4]. При этом происходит сдвиг мышц мяса на расстояние 3-8 мм и идет разрыв коллагеновых волокон, хрящей, а также клеточной структуры мяса, что ускоряет технологический процесс обработки мясного сырья для производства полуфабрикатов. Конструктивно отрицательный электрод должен быть выполнен с большой площадью контакта с разрушаемым материалом, а положительный электрод - с малой площадью контакта. При потребляемой мощности около 150 Вт величина искры может достигать 4-10 мм. Разряды могут происходить с частотой 50 Гц или другой, более удобной в технологическом отношении. Разряд длится от 10 до 100 мкс и вызывает резкое расширение жидкости, а давление в зоне искры и на некотором удалении от нее (2–3 см), согласно авторам технологии, может достигать нескольких тысяч кгс/см<sup>2</sup>, в зависимости от мощности накопительного конденсатора установки [4]. Описанная технология является контактной, причем электрод проникает непосредственно в мясное сырье, а электрогидроудар происходит за счет высокого содержания влаги в мышечной ткани.

Основываясь на теоретических предпосылках, можно предположить, что разрядно-импульсная обработка системы «рассол-мясо» позволит и без контакта электродной системы с мясным сырьем интенсифицировать процесс посола и повысить основные показатели качества мясопродуктов.

## ГЛАВА 2. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Характеристика объектов исследования и условия проведения эксперимента

В соответствии со сформулированной целью и поставленными задачами был осуществлен выбор объектов исследования, условий проведения эксперимента и разработана схема его проведения. План проведения теоретических и экспериментальных исследований предполагал реализацию нескольких этапов исследований.

**На первом этапе** были изучены современные представления об электрогидравлическом эффекте и проанализированы области практического применения разрядно-импульсной технологии. Проведена комплексная оценка влияния физико-химических факторов электрогидравлического эффекта на жидкости и объекты, помещенные в них. Изучены закономерности, описывающие электрофизические, акустические, гидродинамические и гидромеханические процессы, происходящие в жидкости во время пробоя кратковременного высоковольтного электрического импульса. Для интерпретации экспериментальных данных и предсказания изменения свойств рассолов и мясного сырья, были проведены математическое и компьютерное моделирование эксперимента. Математическое моделирование носило скорее аналитический характер и представляло собой установление закономерности между параметрами разряда и энергетическим потенциалом ударных волн и парогазовой полости, образующихся на ранней стадии пробоя разряда. На основе математического моделирования была разработана программа по расчету давления жидкости в рабочей камере в момент времени  $\tau$  и на расстоянии  $l$  от оси разряда. Для воссоздания разработанной модели и подготовки непосредственно к эксперименту, были организованы испытания по пробоем высоковольтных электрических разрядов в растворе с идентичным предполагаемому рассолу

содержанием соли - 7%. В ходе проведения испытаний были определены электрические и энергетические параметры разряда и дана оценка соответствия результатов компьютерного моделирования эмпирическим данным.

**На втором этапе** проводилась разрядно-импульсная обработка мясного сырья в рассоле. В работе использовали мясо охлажденной говядины, выделенной из тазобедренной части, с традиционным ходом автолиза ( $pH = 5,6-6,2$ ). Масса кусков составляла  $400 \pm 50$  грамм. Экспериментальные исследования по разрядно-импульсной обработке (РИО) мясного сырья проходили на базе ИП Поляков А.Н. (г. Ставрополь) с помощью пилотной установки ГИТ-6 (Генератор импульсов тока). Данная установка предназначена для производства высоковольтных разрядов в различных токопроводящих средах. Принцип действия генератора импульсных токов основан на накоплении электрической энергии на емкостном накопителе мгновенном разряде ее через высоковольтный разрядник на нагрузку. В качестве нагрузки используется излучатель энергии, находящийся в токопроводящей среде. Конструкция и принципиальная электрическая схема ГИТ-6 приведены в Приложении А.

Разрядно-импульсному воздействию подвергалось мясное сырье в рабочей жидкости. Рабочая среда (рассол) размещалась в металлической таре с толщиной стенок 4-5 мм. и высотой 600 мм.



Рисунок 4. Тара с рабочей жидкостью

Рассол представлял собой модельную систему, содержащую 3 посолочных ингредиента: соль поваренную (7%), сахар (1,5%) и нитрит натрия (0,015%). Мясное сырье в непосредственном контакте с рассолом обрабатывалось при следующих параметрах:

Таблица 2.1 – Параметры обработки

Величина	Единицы измерения	Значение
Напряжение заряда $U$	кВ	10
Емкость конденсаторов $C$	мкФ	100
Активное сопротивление кабеля, $R$	Ом	0,15
Индуктивность $L$	мкГн	1
Межэлектродный промежуток $\delta$	мм	10
Плотность рассола $\rho_0$	кг/м <sup>3</sup>	1050

Представленные значения основных параметров разряда на данном этапе научно-исследовательской работы являются наиболее оптимальными и получены в ходе серии экспериментов, проведенных в период с 2011 по 2015 гг. Результаты проведенных исследований по разрядно-импульсной обработке мясного сырья с различными параметрами разряда и массовой долей ингредиентов рассола, нашли отражение в публикациях [92-94,101,102,106,195-198]. Расчетно-графический анализ наиболее оптимальных режимов РИО представлен в Приложении Б. Согласно установленным режимам, экспериментальные исследования, описанные в диссертационной работе, проводились при одном и том же уровне запасаемой энергии – 5 кДж. Период заряда конденсаторной батареи составлял 2 с, т.е. частота разряда составляла 0,5 Гц. Объекты исследования подвергались воздействию 100, 200 и 300 импульсов. Контрольный образец представлял собой кусок мышечной ткани выделенный, как и опытные, из тазобедренной части говядины, который выдерживался в рассоле в течение суток при температуре 4°C.

После РИО проводилось исследование свойств рассола и характеристик мясного сырья. Пробы рассола отбирались непосредственно после обработки.

При определении коэффициента диффузии NaCl в исследуемые образцы учитывался только тендеризирующий эффект обработки, в связи с чем куски мяса были изолированы от контакта с рассолом многослойной полиэтиленовой пленкой. Результаты исследований опытных образцов сравнивали с результатами исследований интактных (нативных) и контрольных образцов.

Для проведения остальных экспериментальных исследований мясное сырье выдерживалось в рассоле в течение 24 часов после обработки. С целью исследования влияния тепловой обработки на мясное сырье, подверженное разрядно-импульсной обработке, была проведена термическая обработка исследуемых образцов, которая состояла из трех этапов: подсушка ( $t=95-100^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=15$  мин), варка ( $t=85-90^{\circ}\text{C}$ , до  $t_{\text{шт}}=72^{\circ}\text{C}$ ) и копчение ( $t=40-45^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=3-3,5$  ч).

**На третьем этапе** исследовали готовый продукт – варено-копченое изделие из говядины, произведенное по разработанной технологии и контрольный образец, приготовленный по ТУ 9213-802-00419779-10 «Продукты из свинины и говядины».

В готовых продуктах определяли физико-химические и структурно-механические характеристики, а также их химический состав. Третий этап включил в себя комплексные исследования безопасности продукта и технологии, включающие микробиологические исследования как самого продукта, так и предварительно обсемененных и обработанных растворов. Также было изучено влияние длительности хранения на безопасность разработанной продукции.

**На завершающем этапе** была проведена промышленная апробация продукции, дана оценка экономической целесообразности технологии, разработан и утвержден технический документ, получен патент РФ на полезную модель.

Основные исследования обработанного мясного сырья выполнены на базе кафедры технологии мяса и консервирования СКФУ. Остальные исследования проводились на базе лабораторий сторонних организаций. Так, определение электрических и энергетических параметров разряда проводились в промышленных условиях ЗАО «РИТА» (г. Москва) при содействии главного инженера к.т.н. Лукьянченко П. П. Экспериментальные исследования влияния

высокого гидростатического давления на коэффициент диффузии и глубину проникновения соли в мясо проводились в Институте технологии и качества мяса «Max Rubner-Institut» (г. Кульмбах, Германия) в рамках стажировки по Программе развития СКФУ. Исследования осуществлялись с Dr. I. Dederer и Dr. R. Lautenschläger. Гистологические исследования мясного сырья были проведены в ПНИЛ «Экспериментальной иммуноморфологии, иммунопатологии и иммунобиотехнологии» ЦКП СКФУ под руководством д.б.н. Тимченко Л.Д. Совместно с заведующим НИЛ «Нанобиотехнологии и биофизики» ЦКП СКФУ, к.б.н. Будкевичем Р.О. была подобрана методика атомно-силовой микроскопии волокон мышечной ткани, а также осуществлены исследования содержания водорастворимых антиоксидантов в образцах мясного сырья. При исследовании структурно-механических свойств мясного сырья были проведены экспериментальные исследования на универсальной разрывной машине Labtest 6600 в лаборатории кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования Института строительства, транспорта и машиностроения СКФУ. Фотонно-корреляционная спектроскопия рассолов и исследование коэффициента диффузного отражения света с поверхности мяса проводились на кафедре технологии наноматериалов Института электроэнергетики, электроники и нанотехнологий СКФУ под руководством заведующего кафедрой, д.т.н. Серова А.В. Химический состав готового продукта исследовали в лаборатории кафедры технологии мяса и консервирования СКФУ и учебно-научной испытательной лаборатории ФГБОУ ВПО СтГАУ совместно с к.с.-х.н. Самокиш Н.В. Микробиологические исследования проводились на кафедре технологии мяса и консервирования СКФУ (под руководством к.т.н. Кожевниковой О.Н.) и в лабораториях ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ставропольском крае».

## **2.2. Схема проведения эксперимента**

В соответствии с целью и задачами работы была составлена схема эксперимента, представленная на рисунке 7.

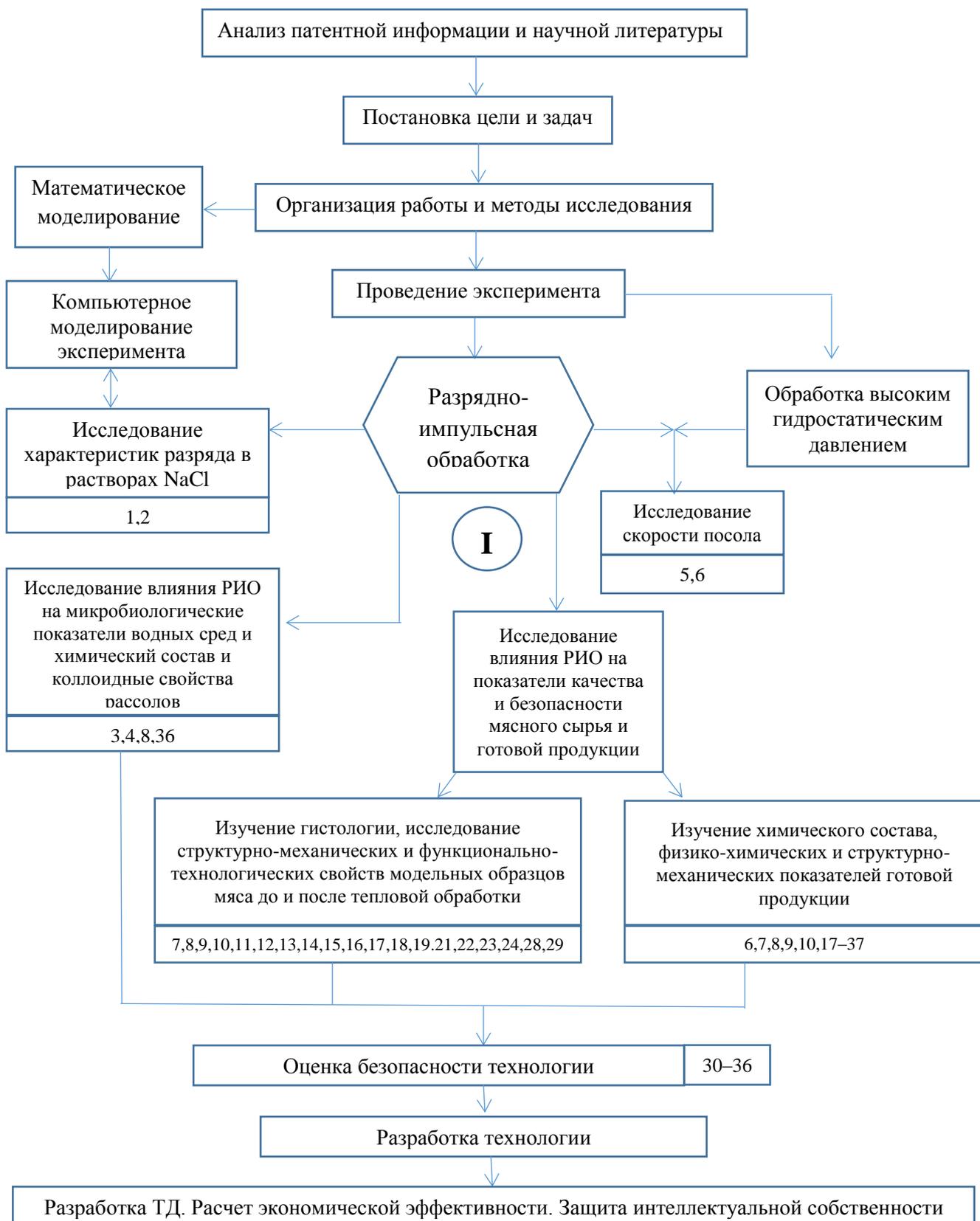


Рисунок 7– Схема проведения эксперимента

**Варьируемые условия:** I – количество импульсных разрядов в процессе разрядно-импульсной обработки (100, 200, 300).

**Исследуемые показатели:**

- 1 – Сила тока разряда, кА;
- 2 – Давление в рабочей камере, МПа;
- 3 – Размер частиц в рассоле, нм, мкм;
- 4 – Содержание сухих веществ в рассоле, %;
- 5 – Коэффициент диффузии соли в мясное сырье, м<sup>2</sup>/с;
- 6 – Содержание поваренной соли, %;
- 7 – Содержание влаги, %;
- 8 – Содержание белка, %;
- 9 – Содержание золы, %;
- 10 – Содержание жира, %;
- 11 – Микроструктура мышечной ткани;
- 12 – Коэффициент жесткости мышечных волокон, пН/нм;
- 13 – Модуль упругости мышечных волокон, кПа;
- 14 – Предельное напряжение среза, кПа;
- 15 – Пластичность мясного сырья, м<sup>2</sup>/кг;
- 16 – Выход сырья после посола, %;
- 17 – Концентрация водородных ионов, ед;
- 18 – Влагосвязывающая способность, %;
- 19 – Водоудерживающая способность, %;
- 20 – Коэффициент диффузного отражения, отн. ед.;
- 21 – Усилие резания, кН;
- 22 – Степень пенетрации, мм;
- 23 – Предельное напряжение на растяжение, кПа;
- 24 – Активность воды, ед;
- 25 – Содержание нитрозопигментов к общему количеству пигментов, %;
- 26 – Содержание остаточного нитрита натрия, мг/кг;
- 27 – Цветовые характеристики продукта

- 28 – Потери массы при термической обработке, %;
- 29 – Выход готового продукта, %;
- 30 – Содержание нитрозаминов, мг/кг;
- 31 – Содержание железа, мг/л, мг/кг;
- 32 – Содержание меди, мг/л, мг/кг;
- 33 – Содержание алюминия, мг/л, мг/кг;
- 34 – Содержание цинка, мг/л, мг/кг.
- 35 – Токсичность;
- 36 – Микробиологические показатели (КМАФАнМ, КОЕ/г; БГКП, в 1 г; *Aspergillus*, КОЕ/г);
- 37 – Органолептические показатели, ед;

### 2.3. Методы исследований

В соответствии со схемой эксперимента в процессе выполнения работы были выполнены комплексные исследования с использованием стандартных общепринятых, специальных и оригинальных методов анализа исследуемых показателей объектов исследования.

Стандартные методы исследований сгруппированы и представлены в таблицах 2.2-2.3.

Таблица 2.2 – Стандартные методы исследований рассолов

№ п/п	Исследуемый показатель	Используемый метод	Источник литературы
1	Содержание железа	Фотометрический метод определения массовой концентрации общего железа, основанный на образовании сульфосалициловой кислотой с солями железа окрашенных комплексных соединений	ПНДФ 14.1:2:4.50-96
2	Содержание	Атомно-абсорбционная спектроскопия	ПНДФ

	цинка	проб, подготовленных путем добавления к 50 мл рассола 2,5 мл концентрированной азотной кислоты с последующей выдержкой и фильтрованием.	14.1:2:4.139-98
3	Содержание меди		
4	Содержание алюминия	Фотометрический метод определения массовой концентрации алюминия, основанный на взаимодействии алюминия при pH=6 с органическим реагентом трифенилметанового ряда сульфохромом в присутствии поверхностно-активного вещества – хлорида цетилпиридиния с образованием окрашенного в фиолетовый цвет комплексного соединения	ПНДФ 14.1:2.93-97
5	Содержание сухих веществ	Гравиметрический метод определения массовой концентрации сухого остатка, основанный на взвешивании остатка, полученного при выпаривании аликвотной части отфильтрованной пробы исследуемой воды и высушенного при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$	ПНДФ 14.1:2:4.114-97
6	Содержание белков	Фотометрический метод определения белка и метод определения содержания белков по Кьельдалю	ГОСТ 25011-81
7	Токсичность	Биотестирование подготовленных проб на инфузориях: стилонихиях и колподах.	ГОСТ 31674-2012

Таблица 2.3 – Стандартные методы исследований мясного сырья и готового продукта

№ п/п	Исследуемый показатель	Используемый метод	Источник литературы
<i>Химический состав</i>			
1	Содержание влаги	Высушивание навески до постоянной массы при температуре $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (без	ГОСТ 33319-2015

		использования песка)	
2	Содержание белка	Фотометрический метод определения белка и метод определения содержания белков по Кьельдалю	ГОСТ 25011-81
3	Содержание жира	Экстракционный метод Сокслета	ГОСТ 23042-86
4	Содержание золы	Метод, основанный на высушивании, обугливание, озолении при температуре $(550\pm 25)^\circ\text{C}$ пробы.	ГОСТ 31727-2012 (ISO 936:1998)
5	Содержание соли	Классический метод Мора Метод Фольгарда	ГОСТ 9957-73 ГОСТ Р 51480-99
<i>Физико-химические свойства</i>			
6	Концентрация водородных ионов (pH)	Потенциометрическим методом с помощью pH-3DS.	ГОСТ Р 51478-99
7	ВСС	Метод Грау и Хамма в модификации В.Л. Воловинской и Б.И. Келман, основанный на прессовании проб мяса и подсчете площади пятна выделившейся влаги.	—
8	ВУС	Метод М. Станку, основанный на центрифугировании проб.	—
9	Активность воды	Криоскопический метод, с помощью устройства АВК-6	—
10	Выход сырья после посола	Взвешивание образцов до и после посола.	—
11	Потери массы при термической обработке	Взвешивание образцов до и после термической обработки. Расчет потерь массы в	—

		процентах.	
12	Выход готового продукта	Взвешивание образцов до и после термической обработки. Определение массы образцов в процентах от массы до обработки.	—
13	Содержание остаточного нитрита натрия	Метод, основанный на реакции нитрита с N-(1-нафтил) - этилендиамин дигидрохлоридом и сифаниламидом в обезбелоченном фильтрате и последующем фотоколориметрическом или визуальном определении интенсивности окраски	ГОСТ 8558.1-78
14	Содержание нитрозопигментов и общего количества пигментов	Метод, основанный на экстрагировании пигментов мяса и мясопродуктов водным раствором ацетона с последующим измерением оптической плотности экстракта на фотоэлектроколориметре КФ-77 при длине волне 540 нм	—
15	Цветовые характеристики продукта	Расчетным методом по общепринятому алгоритму	—
<i>Структурно-механические свойства</i>			
15	Пластичность	Метод прессования проб с последующим расчетом площади деформировавшегося объекта	—
16	Степень пенетрации	Метод, основанный на погружении игольчатого индентора в образец с помощью консистометра Гепплера.	ГОСТ Р 50814-95

<i>Гистологические исследования</i>			
17	Поперечные и продольные гистологические срезы	Метод, включающий подготовку проб с помощью микротомы, окраску гематоксилином и эозином, микроскопирование	ГОСТ 19496-2013
<i>Показатели безопасности</i>			
18	Содержание цинка	Метод, основанный на минерализации проб способом сухого или мокрого озоления и определения концентрации элемента в растворе минерализата пламенной атомной адсорбцией	ГОСТ 30178-96
19	Содержание меди		
20	Содержание железа	Колориметрический метод, основанный на измерении интенсивности окраски растворов комплексного соединения двухвалентного железа с ортофенантролином красного цвета	ГОСТ 26928-86
21	Содержание нитрозаминов	Метод, предполагающий выделение летучих N-нитрозаминов (НА) путем перегонки, экстракции хлористым метилом НА из водного дистиллята; концентрации экстракта; денитрозировании НА бромистым водородом в уксусной кислоте; алкилировании образовавшихся аминов 8-метокси-5-хинолинсульфонилазиридином (КАЗ), разделении и количественном определении образовавшихся	МУК 4.4.1.011-93

		флуоресцирующих 8-метокси-5-[N-(2-N-диэтиламино)] хиолинсульфонамидных производных (КАЭ-производные) в тонком слое силикагеля.	
22	Токсичность	Биотестирование подготовленных проб на инфузориях: стилонихиях и колподах.	ГОСТ 31674-2012
23	Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов	По стандартным методикам	ГОСТ Р 54354-11; ГОСТ 10444.15-94
24	Наличие бактерий группы кишечной палочки	По стандартным методикам. При определении количества микроорганизмов посевом на (в) агаризованные среды результаты выражают - КОЕ (колониеобразующая единица) в 1 г продукта, при определении количества микроорганизмов по методу НВЧ (наиболее вероятное число) - количеством клеток в 1 г продукта.	ГОСТ Р 54354-11
25	Наличие плесени <i>Aspergillus</i>		
26	Содержание кишечной палочки		
<i>Органолептическая оценка</i>			
27	Органолептические показатели	Дегустация с выставлением оценок по пятибалльной системе;	ГОСТ 9959-91;

Специальные и оригинальные методы исследований описаны ниже.

**Вольтамперные и энергетические параметры разряда в воде** определялись с помощью осциллографа и керамических пьезодатчиков.

Пробой разрядов в растворе производился в металлической емкости с толщиной стенки 5-6 мм. Высота бочки 100 см, диаметр 30 см. Излучатель (1) погружался на глубину 35 см и его торец находился на расстоянии 50 см от дна емкости. Все электрические характеристики разрядов определялись поясами Роговского и делителями напряжения. Для измерения давления в воде применялись пьезоэлектрические датчики давления (3), установленные на штатив (2). Использовались диски из пьезокерамики ЦТС-19 диаметром 8мм и толщиной 1 мм. Полный диаметр датчиков с учетом изоляции и акустической развязки от корпуса бочки составил 20 мм. Датчики размещались на той же глубине, что и рабочая головка, но вблизи стенки бочки. Давление также определялось по манометру (4), класс точности которого 0,5. Датчики при этом подключались к осциллографу (5) через эмиттерный повторитель (6) с входным сопротивлением не менее 1 ГОм.

Схема размещения излучателя и датчиков давления показаны на рисунке 8.

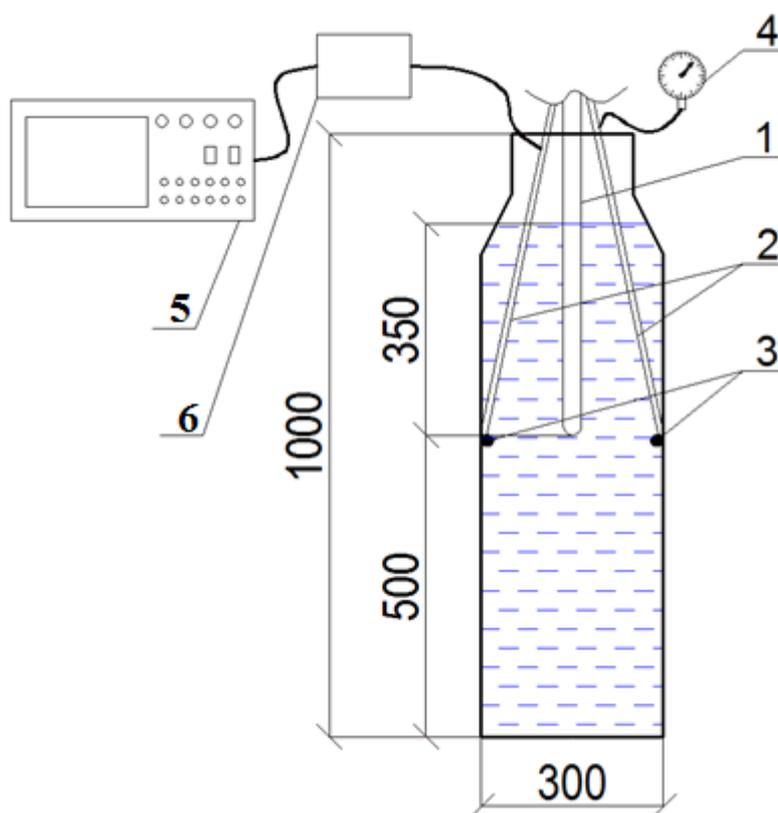


Рисунок 8 – Схема размещения излучателя и датчиков

Результатами исследований являются осциллограммы.

**Размер частиц, содержащихся в рассоле** определяли методом динамического рассеяния света (ДРС) с помощью спектрометра динамического рассеяния света Photocor Complex (ООО «Антек-97» Россия). Метод позволяет определить коэффициент диффузии дисперсных частиц в жидкости путем анализа корреляционной функции флуктуаций интенсивности рассеянного света, после чего рассчитывается радиус частиц.

**Коэффициент диффузного отражения** так же определяли с помощью спектрометра динамического рассеяния света Photocor Complex.

Отражательную способность продукта возможно изучить при помощи коэффициента отражения ( $\rho_\lambda$ ), который показывает отношение светового потока ( $F_2$ ), отраженного исследуемым образцом, к световому потоку ( $F_1$ ), упавшему на образец:

$$\rho_\lambda = \frac{F_2}{F_1}, \quad (42)$$

Метод измерения состоит в сравнении спектрального распределения коэффициента отражения от исследуемого образца со спектральным распределением коэффициента отражения от эталона. В качестве эталона использовали порошок MgO, для которого коэффициент отражения постоянен в спектральном диапазоне от 220 до 1200 нм, и имеет значение 0,96 [29]. Исследования проводили с длиной волны  $\lambda = 400-750$  нм. По отражению поверхности образца определяли интенсивность окраски мяса.

**Коэффициент диффузии соли в мясное сырье** определяли по методу, основанному на создании разности концентрации соли в двух сообщающихся камерах, жидкости в которых разделены исследуемым сырьем заданной толщины L м. Метод был впервые опробован сотрудниками кафедр технологии мяса и консервирования и технологии наноматериалов СКФУ и усовершенствован в процессе работы с учеными Института Макса Рубнера (MRI, Кульмбах, Германия). Для проведения исследований по определению коэффициента диффузии был сконструирован прототип лабораторной установки, представленный на рис. 9.

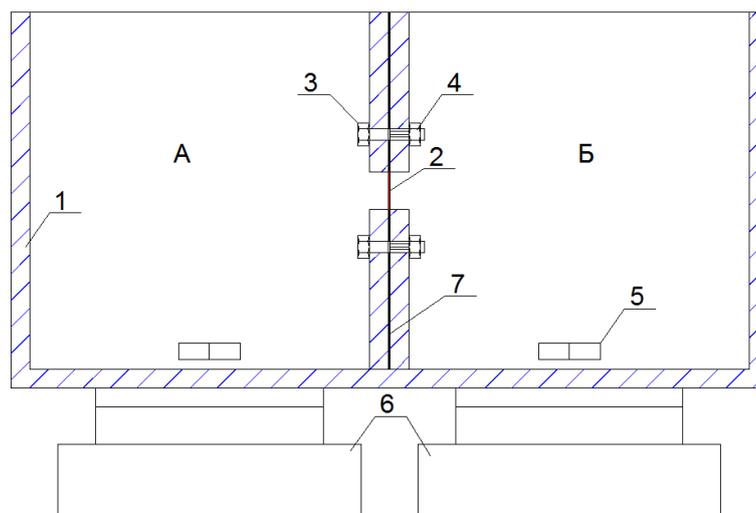


Рисунок 9 – Схематическое изображение установки для определения коэффициента диффузии

А и Б – эквивалентные сообщающиеся емкости с растворами соли концентрации  $C_1$  и  $C_2$ ;

1 – корпус устройства, 2 – образец мышечной ткани, 3 – болт из нержавеющей стали, 4 – шестигранная гайка из нержавеющей стали, 5 – магнитные гранулы, 6 – электромагнитные мешалки, 7 – резиновая прокладка между стенками.

Образцы мышечной ткани (2) представляли собой срезы контрольных и опытных кусков мясного сырья поперек волокон шагом 5 мм для получения линейных размеров 5x50x50 мм. Нарезанные куски фиксировались между стенок емкостей А и Б с помощью болтовых креплений (3,4) таким образом, чтобы полностью закрыть отверстие диаметром 20 мм. Т.е. активная площадь диффузии соли в мышечную ткань равнялась  $314 \text{ мм}^2$ . После установки мышечной ткани емкости А и Б одновременно заполнялись 7% раствором NaCl и дистиллированной водой соответственно. Высота жидкостей доводилась до одной метки, чтобы исключить при вычислениях дополнительную переменную в виде градиента давлений. Риск появления еще одной переменной – градиента температуры был минимизирован проведением исследований в помещениях с постоянной температурой, близкой к температуре стандартных физических

условий. Жидкости также выдерживались при комнатной температуре до достижения постоянной температуры.

Электромагнитные мешалки (6) приводят во вращательное движение магнитные гранулы (5) с целью искусственного перемешивания и поддержания турбулентного режима в жидкостях. Перемешивание раствора способствует постоянному выравниванию концентрации соли за счет вытеснения естественного диффузионного переноса конвективным. При этом значительно уменьшается диффузионный перенос соли в пределах пограничного слоя, толщина которого опять же зависит от скорости движения раствора. Снижение фактора диффузии соли в пограничном слое и внутри объема растворов позволяет более точно определить коэффициент диффузии соли в мышечную ткань.

Отбор проб растворов осуществлялся каждые 60 минут (по 10 мл из каждой емкости). Эквивалентность высоты объема жидкости соблюдалась. Содержание соли определяли в растворе с изначально меньшей концентрацией общепринятым аргентометрическим методом Мора.

Так как при определении коэффициента диффузии соли в мясо образцы мышечной ткани имели форму пластины с площадью, во много раз превышающей толщину, математическое описание исследуемого процесса сводилось к решению одномерного уравнения нестационарной диффузии (1) при следующих начальных и граничных условиях:

$C(x, 0) = 0$ , т.е. в момент начала процесса мышечная ткань не содержала диффундирующего вещества – NaCl.

$$V \frac{\partial C(x,0)}{\partial \tau} = -DS \frac{\partial C(x,0)}{\partial x}, \quad (43)$$

где

$V$  – объем мышечной ткани, через который проходит диффузия,  $\text{м}^3$ ;

$S$  – активная площадь мышечной ткани,  $\text{м}^2$ ;

$D$  – коэффициент диффузии.

Граничное условие показывает, что интенсивность изменения концентрации поваренной соли на поверхности образца мышечной ткани с объемом  $V$  вызывает

поток массы NaCl в толщу образца, при прохождении которой диффундирует в раствор с меньшей концентрацией [178].

Решение краевой задачи диффузии (1), (8) методом интегрального преобразования Лапласа приводит к следующему выражению для определения зависимости изменения концентрации растворов в емкостях А и Б по времени:

$$\frac{C_{2n} - C_2}{C_1 - C_2} = 1 + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2(a_n^2 + b^2)}{a_n^2 + b^2 + b} * \frac{\sin a_n}{a_n} \exp\left(\frac{Da_n^2 \tau}{L^2}\right), \quad (44)$$

где

$C_1$  – начальная концентрация в емкости А, 7%;

$C_2$  – начальная концентрация в емкости Б, 0%;

$C_{2n}$  – концентрация в емкости Б, % в момент времени  $\tau$ , с;

$b = LS/V_2$ , где  $L$  – толщина образца, м;

$S$  – активная площадь диффузии, м<sup>2</sup>;

$V_2$  – объем емкости Б, м<sup>3</sup> в момент времени  $\tau$ , с;

$a$  – ненулевой положительной корень уравнения  $a * \operatorname{tga} = b$ .

Значение  $C_{2n}$  определялось спустя 1 час, 2 часа, 3 часа, 4 часа и 24 часа с момента начала диффузии. Исследования проводились в трех повторностях по каждому образцу;  $C_{2n}$  присваивалось среднее значение полученных результатов, за исключением данных, отличающихся более чем на 5%.

**Глубина проникновения соли** в мясо определялась согласно методике, также разработанной во время стажировки в MRI (19.09-08.12. 2013 г, Институт Макса Рубнера, Германия).

Так как при воздействии высокого гидростатического давления осуществлялся сухой вид посола (5% к массе мясного сырья), после обработки контрольные и опытные образцы 24 часа хранились в упакованном виде при температуре 1-2°C. Контрольные и опытные образцы при исследовании влияния разрядно-импульсной обработки на скорость проникновения соли в мышечную ткань выдерживались в рассолах так же в течение 24 часов. После суточной выдержки все исследуемые образцы промывались водопроводной водой от остаточной соли на поверхности.

Промытые куски мяса были разделены условно на внешний, средний и внутренний слои толщиной 10 мм каждый (рис. 10). Т.е. при начальных размерах кусков 50x50x100 мм после отделения внешнего слоя геометрические параметры изменялись до 30x30x80мм, а размеры внутреннего слоя составляли 10x10x60 мм.

Если принять толщину кусков  $H$ , то максимальная глубина проникновения соли находится на расстоянии  $h = H/2$  – в центральной плоскости внутреннего слоя.

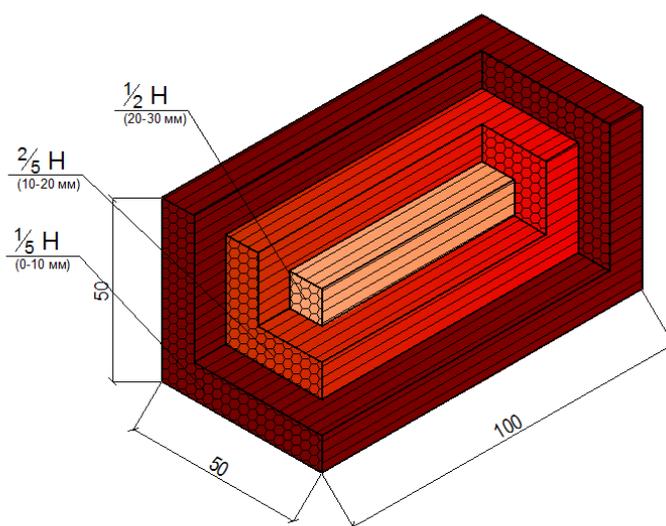


Рисунок 10 – Схематическое изображение условно заданных внешнего, среднего и внутреннего слоев исследуемых кусков мяса

Массовую долю соли в каждом слое определили по стандартной методике Фольгарда.

**Усилие резания и предельное напряжение среза** исследовали с помощью устройства для определения структурно-механических свойств, сконструированного сотрудниками кафедры технологии машиностроения и технологического оборудования СКФУ.

При этом усилие резания отображается на механическом датчике устройства, а величину ПНС определяют путем деления действующей на продукт силы  $P(H)$ , на площадь контакта лезвия с продуктом  $S$  ( $m^2$ ):

$$\theta = \frac{P}{S}, \text{ Н/м}^2 \quad (45)$$

**Предел прочности на разрыв** образцов мяса определяли с помощью универсальной разрывной машины Labtest 6600, предназначенной для статических измерений стандартных образцов на растяжение и сжатие. Пробы мяса, размерами 40x40x100мм выделялись из готового продукта и фиксировались зажимами с шероховатой поверхностью. Испытание на растяжение проводилось при установленной скорости 10 мм в минуту до спада усилия на 95% (разрыва).

Результаты испытаний обрабатываются в 32-битном программном обеспечении «Test & Motion», в котором основные измеряемые показатели образца приводятся в виде графика.

**Гистологические исследования** образцов проводили по нескольким методикам с целью исследования микроструктуры, определения толщины и изучения поверхности волокон образцов. Первая методика описана в ГОСТ 19496-2013. Согласно второй, из мышц вырезались кусочки 0,5 см на 0,5 см, которые помещались в фиксирующую жидкость (10% нейтральный забуференный формалин) на 72 часа. После промывки под проточной водой в течение 24 часов, проводилось обезвоживание образцов в изопропиловом спирте с последующим пропитыванием обезвоженного образца парафином и заливкой в парафин с 6% воском (Hauser. Mikroskopie, 1952, I, p. 208). С парафиновых блоков делались срезы толщиной 6-10 мкм, окрашивались гематоксилином и эозином. Анализ изображения осуществлялся при помощи прямого исследовательского микроскопа Axio Imager 2 (A2) (Carl Zeiss Microscopy). Визуализация изображения и измерение размеров проводились при помощи специализированной фотокамеры AxioCam MRc5 (Carl Zeiss Microscopy) в программном обеспечении Zena 2012 Pro.

Изучение поверхности волокон осуществлялась путем атомно-силовой микроскопии (АСМ). Для проведения АСМ из нативных, контрольных и опытных образцов мяса с помощью хирургического пинцета и скальпеля выделялись небольшие пучки волокон, которые помещались на твердую подложку – слюду, считающуюся оптимальной поверхностью для пробоподготовки биологических образцов. Слоистая структура слюды позволяет наносить объект исследования на

свежий скол с атомарно-гладкой поверхностью. Подготовленные образцы фиксировали на подложке аликвотной воды в качестве клеющего агента.

Атомно-силовая микроскопия волокон проводилась с помощью установки Ntegra-Spectra/NT-MDT в полуконтактном режиме с помощью кантилевера NSG01. После установки слюды с пробами волокон в держатель микроскопа, с помощью оптической системы предварительного поиска выбирался подходящий участок, после чего проводили сканирование с размером полей  $50 \times 50$  мкм<sup>2</sup>, на котором для более детальной визуализации поверхности исследовали отдельные области при большей разрешающей способности. Полученные изображения поверхности волокон образцов обрабатывались с помощью прикладных программных инструментов в программе Nova Pх (NT-MDT).

**Коэффициент жесткости мышечных волокон** и **модуль упругости мышечных волокон** определяли с помощью атомно-силового микроскопа путем снятия силовых кривых с помощью установленного кантилевера.

Для исследования механических свойств мышечных волокон нативных, контрольных и опытных образцов из каждого куска выделялось по 3 пучка волокон. При приближении кантилевера в каждом пучке выбиралось одно волокно, на котором в 18 точках производилось проникновение зонда и строились силовые кривые. Алгоритм обработки силовых кривых описан в Приложении В. Полученные силовые кривые сведены в Приложение Г. В Приложении Д представлен типовой расчет коэффициента жесткости  $k$  и модуля упругости  $E$  волокна по силовым кривым, полученным с одной из 18 точек.

**Компьютерное моделирование эксперимента** осуществляли в среде программирования Borland C++.

**Статистическую обработку данных** проводили с помощью стандартных пакетов программ Microsoft Excel 2010, Statistica 10.0, MatLab 8.03, MathCad 15.0 portable, Mathsolution. Исследования проводились в 3 или 5 параллелях. В основном данные представлены в формате арифметическое среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение. Отклонение более, чем на 5% принималось как статистически недостоверное.

## ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ НА МОДЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ «РАССОЛ-МЯСО»

### 3.1. Компьютерное моделирование эксперимента

С целью решения описанных в главе 1 гидродинамических уравнений и получения сведений об основных параметрах ударной волны и парогазовой полости нами была разработана компьютерная программа «Уникальный импульс», выполненная на базе Borland C++, включающая в себя справочный (СМ), расчетно-графический (РГМ) и аналитический (АМ) модули. Алгоритм работы программы представлен на рис. 11.

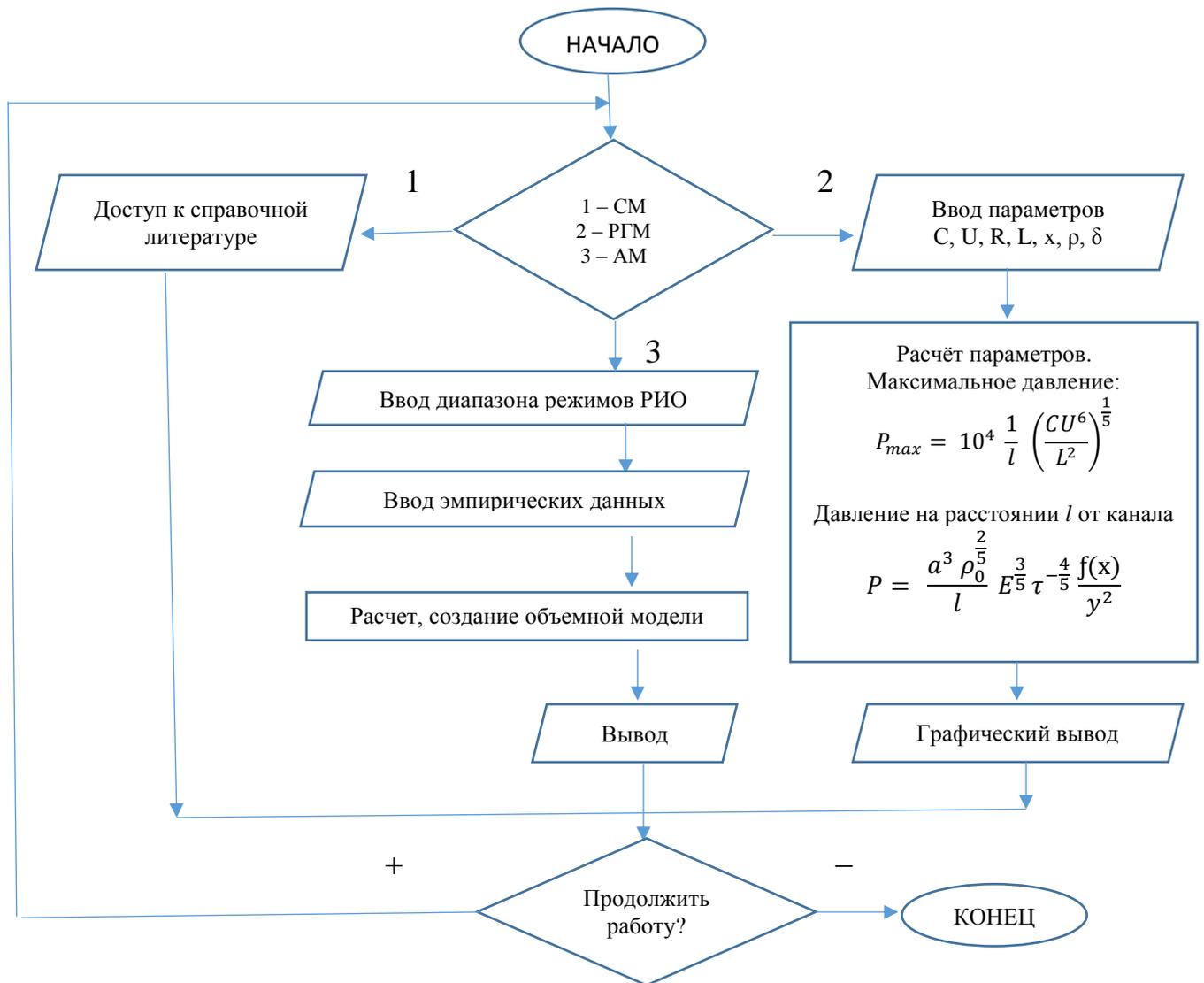


Рисунок 11– Алгоритм работы программы «Уникальный импульс»

Программа «Уникальный импульс» снабжена удобным пользовательским интерфейсом, предполагающим ввод начальных параметров в интерактивном режиме и наблюдение графиков временных зависимостей искомых параметров.

Справочный модуль установлен для оперативного получения доступа к интересующей пользователя информации, касающейся электрогидравлического эффекта, распределения энергии и математических описаний процессов, протекающих при пробое разряда в проводящих растворах. Вся используемая литература в данном модуле содержит ссылки на источники.

Аналитический модуль создан для проведения автоматического анализа эмпирических данных и сопоставления результатов с параметрами и режимами РИО. Пользователю достаточно задать диапазон используемых режимов обработки, включая значения емкости, напряжения и количества импульсов, и ввести наименование исследуемого показателя с соответствующими для каждого режима эмпирическими данными (Приложение Б).

Расчетно-графический модуль позволяет произвести расчет и вывести на экран график изменения давления в обрабатываемой среде. При этом программа показывает динамику изменения давления как в эпицентре разряда, так и на расстоянии, заданном пользователем (рис. 12). Исходные данные, отвечающие условиям проведения эксперимента: напряжение заряда 10 кВ, емкость конденсаторов 100 мкФ, активное сопротивление кабеля 0,15 Ом, индуктивность 1 мкГн, межэлектродный промежуток 10 мм, плотность рассола (7% NaCl, 1,5%  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , 0,015%  $NaNO_2$ )  $\approx 1050$  кг/м<sup>3</sup>.

Как видно на рис. 12, при вводе основных параметров разряда и плотности рассола, программа построила графики изменения давления емкости за цикл формирования и пробоя разряда. Программа также вывела на экран значение давления в емкости на расстоянии 15 см от центра канала разряда (положительного электрода).

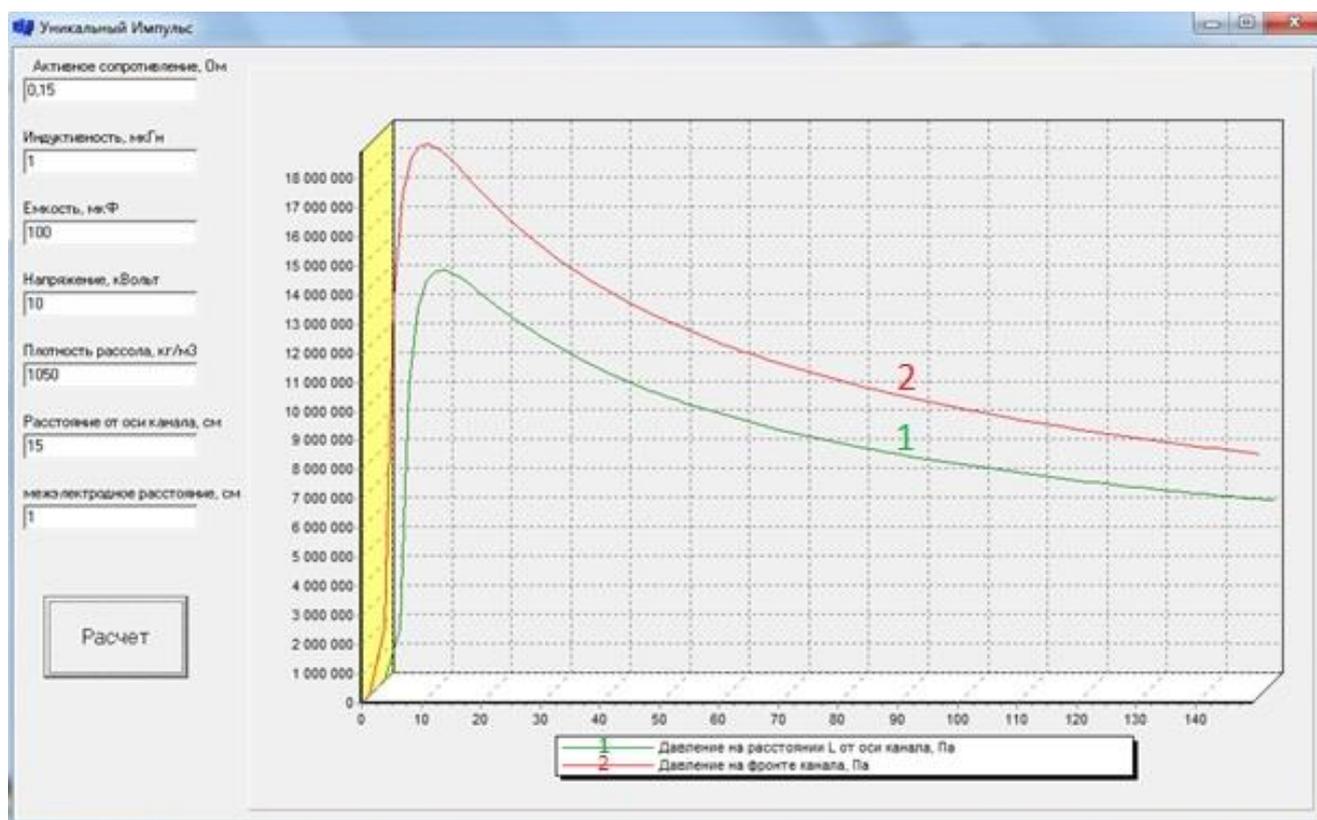


Рисунок 12 – Результаты расчета изменения величины давления при установленных параметрах эксперимента

Таким образом, согласно расчетным данным, максимальное давление в центре канала разряда при проведении эксперимента может достигнуть 18 МПа. При расчете давления на расстоянии 15 см от оси канала (максимальное расстояние при диаметре емкости 30 см) значение пикового давления окажется немного ниже и составит 15 МПа. Сила тока при этом может быть найдена из системы уравнений (20) и составит 12 кА.

Далее оценим основные параметры давления ПГП. Из формулы (21) получим, что максимальный радиус ПГП составит 5 мм. Время одной пульсации будет колебаться в пределах 0,5-1 мс. Как фактор воздействия на состояние рассола, пульсация ПГП создает высокую турбулентность движения жидкости, генерирует в ней высокое давление, причем в связи с достаточно длительным существованием ПГП (порядка миллисекунд) это давление является существенным фактором воздействия [118]. По проведенным расчетам максимальное давление ПГП составит порядка 15 МПа. В этом случае максимальные скорость расширения ПГП составит 24,4 м/с.

### 3.4. Исследование электрических и энергетических параметров разряда

Для установления точности полученных в результате компьютерного моделирования данных были организованы экспериментальные исследования по определению электрических и энергетических характеристик кратковременного высоковольтного импульсного разряда в монокомпонентном растворе с содержанием поваренной соли 7% (при температуре 4°C).

Параметры разряда соответствовали исходным параметрам, заданным программе «Уникальный импульс» для расчета.

Результатами исследований являются осциллограммы.

На рисунке 13 отражены пиковые значения силы тока и давления в растворе, а также динамика изменения этих параметров во времени.

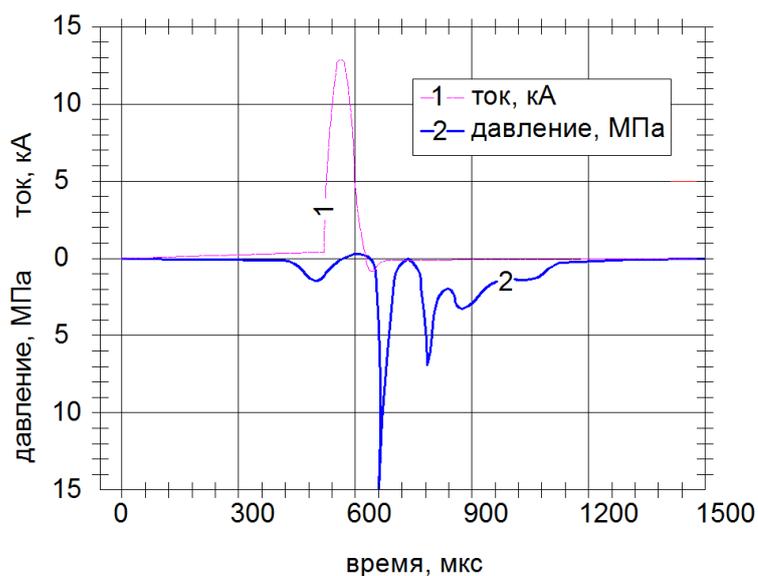


Рисунок 13 – Динамика изменения тока и давления в рабочей камере при пробое разряда

При пробое рабочего промежутка высоким напряжением всегда имеет место стадия стекания. На этой стадии ток течет от положительного электрода к отрицательному, растекаясь по объему электролита. В зависимости от электропроводности раствора и размера высоковольтного электрода, величина силы тока может достигать нескольких кА [153].

На графике изменения силы тока видно, что формирование рабочего промежутка (ППП), предшествующему пробоем разряда в жидкости потребовалось около 500 мкс. Сам разряд длился около 100 мкс, причем амплитуда тока достигла 13 кА. К 650 мкс процесса разряд практически полностью прекратился. Это означает, что выделение энергии в рабочем промежутке к этому моменту тоже закончилось. Но, тем не менее, импульсы давления в объеме исследуемого раствора были активны гораздо большее время, вплоть до 1 мс с момента начала процесса.

Давление на фронте ударной волны в жидкости, по данным осциллографа, превышало 15 МПа. Воздействие давления такой величины может вызывать структурную перестройку материала объекта (деформацию, диспергирование, разрыхление поверхности и т.д.).

Временной сдвиг между импульсами тока и давления, равный примерно 100 мкс, соответствует времени распространения звука в воде на расстояние 14,8 см, в то время как расстояние между разрядным промежутком и датчиком давления в рабочей камере составляло 15 см. Следовательно, скорость движения первой ударной волны в рабочем объеме была эквивалентна скорости звука.

На представленном рисунке видно, что полная осциллограмма давления состоит из нескольких импульсов с уменьшающейся амплитудой. Причем, никакой закономерности между величинами временного интервала и отдельными импульсами не наблюдается. С одной стороны, второй и последующие импульсы давления обусловлены законами гидродинамики и представляют собой резонансные колебания жидкости. С другой стороны, появление на осциллограмме импульсных давлений может иметь отношение к схлопыванию парогазовой полости рабочего промежутка, т.е. кавитации.

Помимо гидродинамического удара под действием электрического разряда в жидкости возникают гидродинамические потоки, а также акустическая волна. И одно и другое приводят к возникновению кавитации. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое происходит при увеличении ее скорости (гидродинамическая кавитация), а также при

прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация) [78]. После разряда искровой канал превращается в газовый пузырь, который расширяется до тех пор, пока кинетическая энергия растекающегося потока полностью не перейдет в потенциальную, и давление в пузыре станет меньше гидростатического. Вследствие этого происходит обратное движение жидкости, и потенциальная энергия пузыря вновь переходит в кинетическую энергию сходящегося потока [93]. При этом наблюдается захлопывание полости, давление газа резко возрастает, и жидкость отбрасывается назад.

На рис. 14 приведены сигналы датчика давления, зарегистрированные осциллографом, имеющим более длинную развертку.

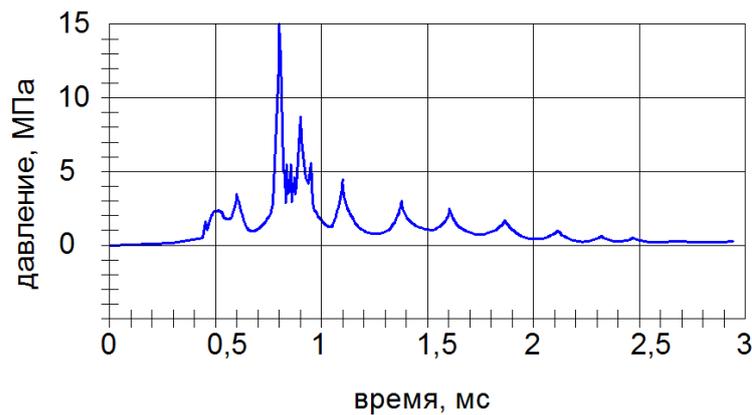


Рисунок 14 – Осциллограмма изменения давления в рабочей камере

Как видно из рис. 14, полная осциллограмма давления состоит из нескольких импульсов с уменьшающейся амплитудой. Причем никакой закономерности между величинами интервала не наблюдается. В целом импульсы давления напоминают затухающие колебания, т.е., скорее всего, на осциллограмме отражены гидродинамические возмущения раствора, происходящие по инерции после захлопывания ПГП. Причем при единичном пробое скачки давления продолжаются до 1,5 мс (как видно на осциллограмме с 1 мс по 2,5 мс).

Таким образом, полученные при исследовании электрических и энергетических параметров разряда данные не имели существенных расхождений с расчетными данными. Так, пиковое давление в растворе на расстоянии 15 см от оси канала разряда составило 15-15,2 МПа, что соответствует расчетному давлению. Период пульсаций давления достигал 1,5 мс, тогда как расчетный период пульсаций ППП ограничивался 1 мс. Пик силы тока в растворе оказался выше расчетного значения тока на 7,5%, что может быть связано с неточно принятыми значениями общего сопротивления, либо проводимости раствора. Тем не менее, выявленная разница не сказалась на величине остальных параметров.

В технологических процессах мясо подвергается внешним воздействиям, интенсивность которых зависит от сопротивляемости сырья, т.е. его физических характеристик [99]. Так, к примеру, мышечная ткань говядины обладает плотностью 1050-1150 кг/м<sup>3</sup> [126] при жесткости 4,4-10,2 пН/нм [5]. Модуль упругости мышечных волокон варьирует в пределах 10<sup>4</sup>-1,5×10<sup>5</sup> Па [104,105]. Теоретически, напряжение в 10 кПа может привести к частичной деструкции отдельно взятого волокна и дефрагментации миофибриллов. Однако, ввиду сложного строения мышечной ткани и ее анизотропных свойств, она способна выдержать даже более интенсивные воздействия. Тем не менее, ударные волны и акустические колебания с давлением в системе 15-18 МПа могут оказать на структуру мясного сырья эффекты, связанные с разрыхлением и тендеризацией. В свою очередь, электромагнитные поля в несколько тысяч эрстед способны ускорить скорость проникновения и распределения посолочных веществ в толще мяса за счет релаксационного эффекта и деполяризации белковых молекул сырья и компонентов рассола. При интенсивном перемешивании рассола пограничный слой диффузии сократится в десятки раз, что так же ускорит процесс проникновения соли в мышечную ткань.

Высокие гидродинамические давления, ультразвуковые колебания, ультрафиолетовое свечение и образующийся в процессе пробоя разряда озон являются бактерицидными факторами. Так, например, известно, что ультрафиолетовые лучи максимально эффективно воздействуют на

микроорганизмы при длине волны 254-257 нм [57]. Оптимальная концентрация озона для стерилизации раствора составляет 3 г/м<sup>3</sup> [138]. Согласно расчетам Трепова Д.А. (Москва, 2008), для разрыва клеточной структуры микроорганизмов достаточно гидродинамического давления в виде ударных волн порядка 6-13,5 МПа [141].

Следует учитывать, что при разрядно-импульсной обработке происходит эрозия электродов и миграция металлов, составляющих электродную систему, в рассол. Значение эрозии для установленной электродной системы при заданных режимах обработки необходимо определить эмпирически, как и количество свободных радикалов, также генерирующихся в канале разряда во время электрогидравлического эффекта.

В связи с многофакторностью разрядно-импульсной обработки, знание отдельных параметров обработки и некоторых свойств исследуемой мышечной ткани недостаточно для полноценного прогноза характера влияния ЭГЭ на свойства мясного сырья. Для эффективного решения поставленных задач необходимо изучить динамику изменения структурно-механических, функционально-технологических и других свойств мяса, а также физико-химических, гистологических и микробиологических характеристик, оценить безопасности сырья и получаемых из него готовых продуктов. Только в случае комплексного исследования рассолов, мясного сырья и готового продукта, с сопоставлением эмпирических данных с результатами, полученными на модельных образцах, можно сделать вывод о возможности применения на практике разрядно-импульсной технологии посола мясного сырья с обоснованием технологических преимуществ и экономической целесообразности.

### **3.3. Влияние разрядно-импульсной обработки на микробиологические показатели модельных водных сред**

Как было отмечено ранее, некоторые процессы, протекающие при РИО, могут оказывать бактерицидное действие. Основными факторами ЭГЭ,

подавляющими микрофлору, могут выступать гидродинамические давления, вызываемые ударной волной и пульсацией ППП, ультразвуковое излучение, ультрафиолетовое свечение, образование свободных радикалов и активных форм кислорода (озон, пероксид водорода), а также эрозия металлов ЭС.

Для подтверждения бактерицидного эффекта разрядно-импульсной обработки была проведена сравнительная оценка микробиологических показателей обработанной и необработанной водопроводной воды с принудительным внесением микрофлоры. Опытный образец обрабатывали 300 импульсами. Микробиологический анализ проводили по следующим показателям: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерии группы кишечной палочки (БГКП) и плесени (*Aspergillus*).

Результаты исследований показали, что посеvy контрольного и опытного образцов водопроводной воды с принудительно внесенной микрофлорой на среду МПА не выявили присутствия БГКП в опытных образцах (рис.15). При этом в контрольных образцах наблюдалось образование непрозрачных колоний правильной формы кремового, желтого или оранжевого цвета, что, по-видимому, связано с ростом *E.coli*.



Рисунок 15 – Посевы образцов с присутствием бактерий группы кишечной палочки

Аналогичная зависимость была обнаружена при исследовании контрольного и опытного образцов воды, в которую внесли споры плесени *Aspergillus*. Посев проводили на среду Сабуро (рис. 16).

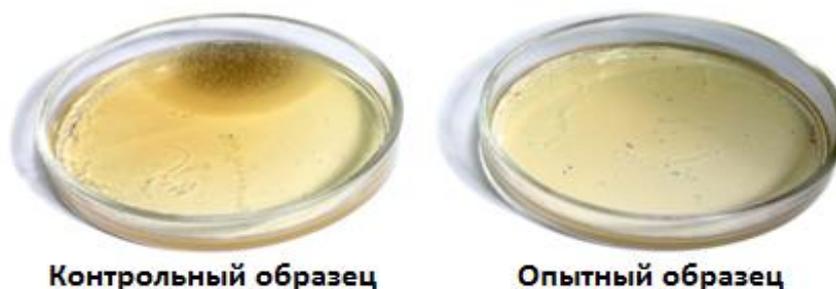


Рисунок 16 – Посевы образцов с присутствием плесени рода *Aspergillus*

Как видно на рис. 16, в контрольном образце после термостатирования были обнаружены желтые и коричневые колонии, а в опытном образце плесень не проросла. Следовательно, РИО может оказывать губительное влияние как на вегетативные, так и на споровые формы микроорганизмов.

При определении КМАФАнМ контрольных и опытных образцов также было установлен бактерицидный эффект обработки. Результаты исследования микробиологических показателей предварительно загрязненной водной среды, подвергнутой разрядно-импульсной обработке, представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Микробиологические показатели водопроводной воды с принудительно внесенной микрофлорой

Микробиологические показатели	Образец	
	контрольный	опытный
КМАФАнМ, КОЕ/г	$2,5 \cdot 10^2$	не обнаружено
БГКП, в 1 мл воды	обнаружено	не обнаружено
Плесени <i>Aspergillus</i> , КОЕ/г	обнаружено	не обнаружено

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что в опытных образцах модельных водных сред произошло подавление всей принудительно

внесенной в воду микрофлоры. Следовательно, доказан бактерицидный эффект РИО.

### 3.4. Изучение влияния разрядно-импульсной обработки на физико-химические свойства рассола

Согласно проведенному анализу литературы, скорость посола, как диффузионно-осмотического процесса, пропорциональна разности концентраций и температуре и обратно пропорциональна вязкости рассола, размеру посолочных частиц и толщине пограничного слоя. Причем, пограничный слой сокращается как искусственным путем – механическим перемешиванием рассола, так и естественным – за счет броуновского движения частиц. Интенсивность броуновского движения частиц оказывает определяющее влияние на значение энтропии, т.е. при увеличении интенсивности беспорядочного движения растворенных в рассоле частиц его термодинамическое состояние будет стремиться к максимальной энтропии, что скажется на увеличении агрегативной устойчивости. При этом агрегативная устойчивость рассола, как высокодисперсной системы, также будет зависеть от значения коэффициента диффузии посолочных ингредиентов в жидкую фазу.

Согласно закону Эйнштейна-Смолуховского, связь между амплитудой движения частицы  $\Delta$  и коэффициентом диффузии  $D$  за время  $\tau$ :

$$\Delta = \sqrt{2D\tau}, \quad (46)$$

При этом коэффициент диффузии, согласно уравнению Эйнштейна, прямо пропорционален температуре и обратно пропорционален трению растворенных частиц:

$$D = \frac{RT}{N_a k_{тр}}, \quad (47)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;

$N_a$  – число Авогадро;

$k_{тр}$  – коэффициент трения частицы.

Из уравнения Навье-Стокса известно, что сила трения частиц в жидкости определяется шестикратным произведением радиуса частиц, скорости передвижения и динамической вязкости. Из этого следует, что скорость передвижения частиц можно увеличить уменьшением размера частиц и вязкости.

При интенсивном движении коллоидных частиц в растворе происходит разрыв двойного электрического слоя (ДЭС). При этом часть диффузного слоя захватывает частица, а часть ионов остаются в растворе, в результате чего устанавливается разность потенциалов между движущейся коллоидной частицей и окружающей ее средой при отрыве части диффузного слоя [135].

В Главе 1 отмечалось, что в последние годы как в России, так и за рубежом интенсивно развиваются методы разрядно-импульсного дробления и измельчения крупных материалов и микрочастиц. Основными действующими факторами разрядно-импульсного дробления являются импульсное гидродинамическое давление и ультразвуковое излучение, сопровождающее электрогидравлический эффект. При этом ультразвук способен измельчать частицы, диаметр которых сопоставим с длиной волны данной группы частот [153].

С целью изучения влияния РИО на размер посолочных веществ были проведены спектрометрические исследования. Опытный (обработанный, 300 импульсов) и контрольный (необработанный) образцы рассолов, отобранные спустя сутки после проведения разрядно-импульсной обработки и выдержки сырья в рассолах, были направлены в лабораторию кафедры технологии наноматериалов Института электроэнергетики, электроники и нанотехнологии СКФУ для проведения фотонно-корреляционной спектроскопии. Исследования проводились с помощью спектрометра динамического рассеяния света Photocor Complex (ООО «Антек-97» Россия).

На рис. 17 и 18 представлены диаграммы распределения частиц в контрольном и опытном образцах рассолов.

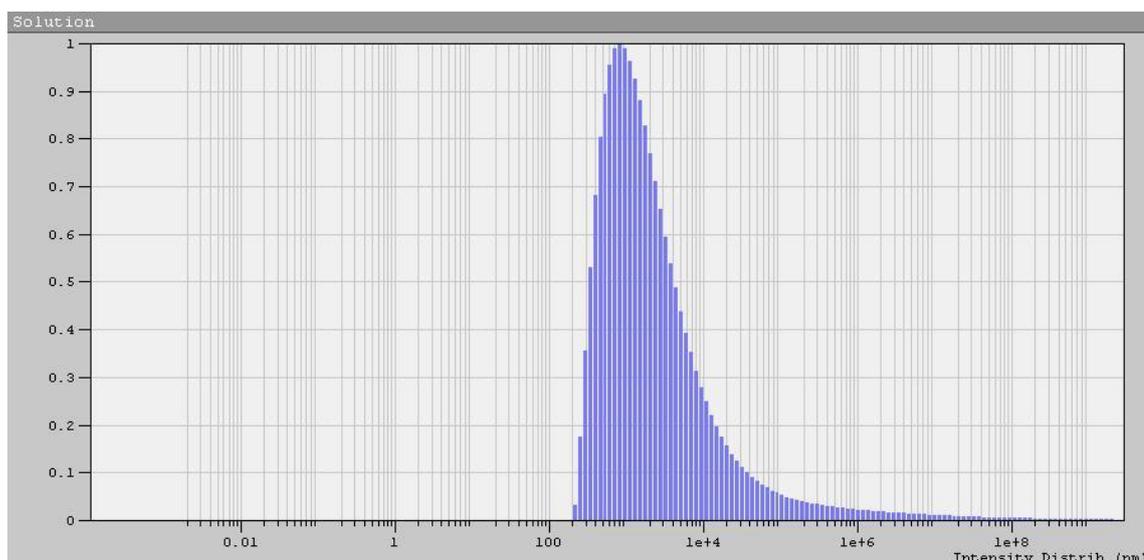


Рисунок 17 – Показатели размера частиц в контрольном образце

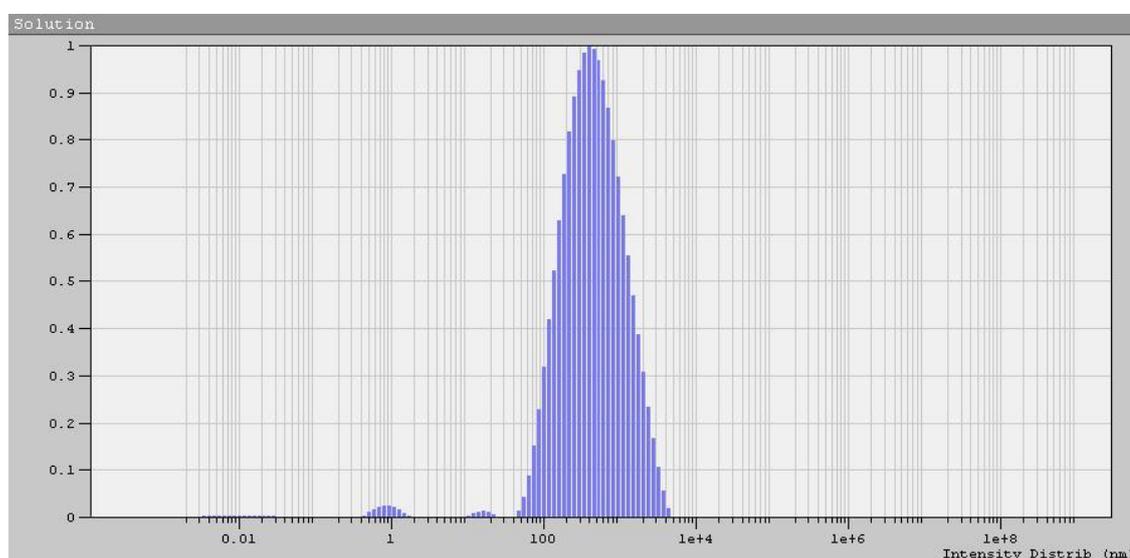


Рисунок 18 – Показатели размера частиц в опытном образце

Фотонно-корреляционная спектроскопия контрольного и опытного образцов рассола показала, что размер частиц в образцах имел существенное отличие. Так, согласно приведенной на рис. 17 диаграмме, в контрольном образце рассола присутствовала одна фракция с размерами от 80 нм до 100 микрон со средним размером частиц 827 нм. В опытном образце рассола (рис. 18) присутствовала одна основная фракция с размерами от 60 нм до 3 микрон со средним размером частиц 400 нм, а также две фракции со средним размером 1 нм и 15 нм соответственно.

Средний гидродинамический радиус частиц в опытном образце составил 646 нм, что значительно меньше, чем в контрольном образце – около 1мкм. При этом доля частиц крупной фракции в обработанном рассоле также была меньше.

Таким образом, анализ распределения частиц в контрольном и опытном образцах рассолов показал, что разрядно-импульсная обработка способствовала диспергированию веществ, находящихся в рассоле. Вследствие обменной диффузии в системе «рассол-мясо» при посоле, в рассол переходят белковые (преимущественно саркоплазматические белки) и экстрактивные вещества мяса, а также минеральные вещества и витамины, растворимые в воде и слабосоленой среде. Таким образом, при исследовании размера частиц в рассолах, помимо основных трех компонентов, содержалось некоторое количество органических веществ, мигрировавших из мясного сырья. Количество переходящих из мяса в рассол веществ зависит от их свойств, условий посола (продолжительности, интенсивности, температуры, количества и концентрации рассола) и вида сырья.

С целью определения общего содержания органических и неорганических веществ, а также степени миграции белковых веществ в контрольный и опытный рассолы было проведено соответствующее исследование химического состава образцов, результаты которого представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты исследования содержания сухих веществ в контрольном и опытном образцах рассола с уточнением содержания белка

Определяемые показатели	Результаты исследований	
	Контрольный образец	Опытный образец
Сухой остаток, г/л	7,87±0,79	8,47±0,81
Содержание белков, мг/л	0,74±0,02	0,81±0,02

Переход в рассол водо- и солерастворимых белковых веществ, частицы которых имеют относительно большие размеры, происходит через открытые поры и капилляры мышечной ткани, а также из волокон с поврежденной структурой [127]. В связи с этим величина белковых потерь при посоле зависит от степени разрушения мышечных волокон, характеризующегося разволокнением и частичными разрывами, интенсивно образующихся при высоком градиенте

концентрации соли  $\left(\frac{dC}{dt}\right)$  в мышечной ткани в процессе посола и проявляющихся на микроструктурных фотографиях при гистологических исследованиях.

Результаты исследования сухого остатка в рассолах показали, что при разрядно-импульсной обработке миграция веществ из мяса в рассол усиливается по сравнению с классическим мокрым посолом. Сухой остаток в опытном образце оказался на 7,6% выше, чем в контрольном, что согласуется с данными по содержанию белковых веществ в опытном образце – в обработанном образце оказалось на 9,5 % больше белка, чем в необработанном. По-видимому, переход исследуемых веществ из мяса в рассол пропорционально связан с диффузией посолочных веществ вглубь мышечной ткани и гидратацией миофибриллярных белков. Таким образом, на основании результатов исследования физико-химических свойств рассолов можно сделать предположение о более интенсивном протекании массообменных процессов в системе «рассол-мясо» при посоле с помощью разрядно-импульсной обработки, что может быть подтверждено при более детальном изучении процесса протекания в этих условиях диффузии посолочных веществ в мышечную ткань.

### **3.5. Исследование влияния высокого давления на скорость диффузионно-осмотических процессов**

Скорость протекания посола и интенсивность проникновения посолочных компонентов в продукт в значительной степени зависят от значений коэффициента диффузии  $D$  в системе рассол-мясо и коэффициента пьезопроводности  $\varepsilon$  мышечной ткани, которые, чаще всего, неизвестны. Изменение коэффициента диффузии в динамике посола до сих пор недостаточно изучено и обычно ограничивается математическим моделированием, но и в этом случае нет единого подхода к решению задачи.

В настоящей работе использован метод определения коэффициента диффузии эмпирическим путем за счет создания разности концентраций в двух

сообщающихся камерах, жидкости в которых разделены исследуемым сырьем заданной толщины  $L$ , м. Метод был разработан для исследования влияния разрядно-импульсной обработки мяса в рассоле на проницаемость мышечных волокон и скорость проникновения посолочных компонентов в мясо. Исследование коэффициента диффузии соли в мясо осуществлялось как в лабораториях кафедры технологии мяса и консервирования Северо-Кавказского федерального университета, так и в Институте технологии и качества мяса «Мах Rubner-Institut» (г. Кульмбах, Германия) в рамках стажировки по Программе развития СКФУ (с 19 сентября по 8 декабря 2013 г.). Стажировка включила в себя комплекс разноплановых исследований, в том числе, связанных с исследованием влияния высоких давлений на скорость посола мяса. Так, в ходе совместных исследований с Dr. I. Dederer и Dr. R. Lautenschläger были организованы работы по определению изменения коэффициента диффузии и глубины проникновения соли в мясо при обработке высоким гидростатическим давлением (high hydrostatic pressure).

Как уже отмечалось в главе 1, электрогидравлический эффект характеризуется формированием высоких и сверхвысоких гидравлических давлений и акустических колебаний, сопровождающихся интенсивными перемешиваниями жидкости, воздействиями мощных электромагнитных полей, возникновением световых излучений различного спектра и т.д. Расчеты показали, что давление в рассоле при разрядно-импульсном воздействии динамически изменяется и может достигать 18 МПа при установленном режиме обработки. Это дает основание отнести разрядно-импульсную обработку к способу обработки высоким гидродинамическим давлением (high hydrodynamic pressure).

Благодаря сотрудничеству с учеными «Мах Rubner-Institut» (MRI), появилась возможность проведения двухэтапных российско-германских исследований по определению коэффициента диффузии и глубины проникновения соли в мышечную ткань при обработке высокими

гидростатическим и гидродинамическим давлениями. Результаты определения содержания соли в пробах растворов приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Содержание NaCl в растворе емкости Б в момент времени  $\tau$

Момент времени после начала диффузии, ч	Содержание соли в образце, %				
	Контрольный	Опытный (ВГД)	Опытный (РИО)		
			100 импульсов	200 импульсов	300 импульсов
1	0,28	0,36	0,32	0,41	0,54
2	0,88	1,07	0,91	1,37	1,63
3	1,46	1,72	1,59	1,91	2,14
4	1,82	2,19	2,2	2,23	2,69
24	2,41	2,69	2,65	2,78	2,91

Следует учитывать, что при каждом отборе проб объем растворов уменьшался на 10 мл или  $10^{-5} \text{ м}^3$ . Таким образом, при расчете значения  $b$  параметр  $V_2$  носит переменный характер, при постоянных значениях  $L = 0.05 \text{ м}$  и  $S = 3.14 * 10^{-4} \text{ м}^2$ . В этом случае обобщенная формула примет вид:

$$b_n = \frac{LS}{V_2 - n * 10^{-5}}, \quad (48)$$

при начальном значении  $V_2 = 0,022 \text{ м}^3$  формула (48) сводится к выражению

$$b_n = \frac{1,57 * 10^{-5}}{0,022 - n * 10^{-5}}, \quad (49)$$

Значение  $a$ , при условии, что это ненулевой положительный корень уравнения  $a * \operatorname{tga} = b$ , определяется графически проекцией на ось абсцисс точки пересечения функций  $f(a) = \operatorname{tga}$  и  $f(a) = b/a$  (рис. 19).

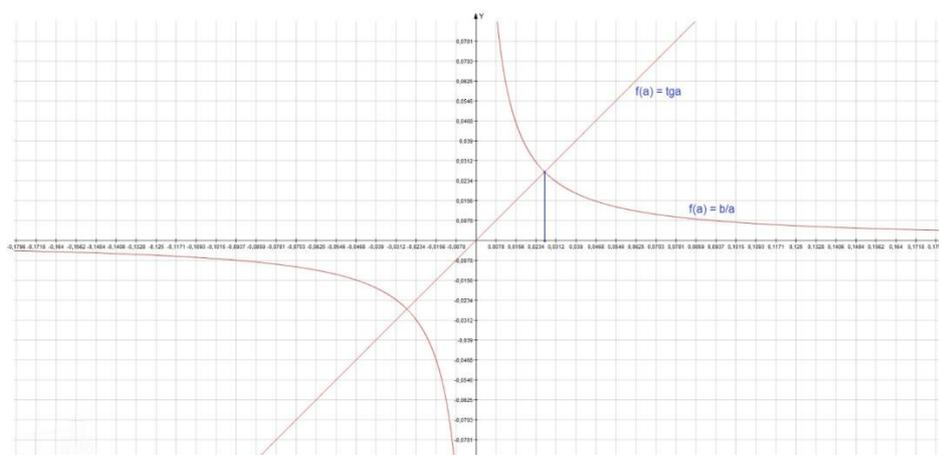


Рисунок 19 – Определение точки пересечения функций  $f(a) = \operatorname{tga}$  и  $f(a) = b/a$  в I четверти координат

Значение величины  $a$  при довольно близких значениях безразмерного параметра  $b$  также варьировалось в узких пределах диапазона  $0,026 \div 0,028$ . Среднее значение было принято  $0,027$  (рис. 20)

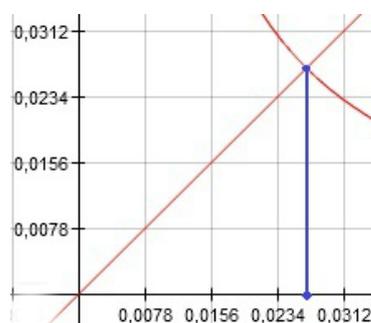


Рисунок 20 – Определение значение величины  $a$  графическим способом

При всех известных параметрах коэффициент диффузии в момент времени  $\tau$  ( $D_n$ ) определяется выражением из формулы (44):

$$\frac{Da_n^2\tau}{L^2} = \ln \frac{1 + \frac{C_2n - C_2}{C_1 - C_2}}{\frac{2(a_n^2 + b^2) \sin a_n}{a_n^2 + b^2 + b} \cdot \frac{\sin a_n}{a_n}}, \quad (50)$$

$$D = \frac{L^2}{a_n^2\tau} \ln \frac{1 + \frac{C_2n - C_2}{C_1 - C_2}}{\frac{2(a_n^2 + b^2) \sin a_n}{a_n^2 + b^2 + b} \cdot \frac{\sin a_n}{a_n}}, \quad (51)$$

Зависимость коэффициента диффузии от продолжительности процесса, в рамках проведенного опыта, приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты исследований по определению коэффициента диффузии соли в мышечную ткань

Исследуемый образец	Значение коэффициента диффузии в момент времени $\tau$ , $\text{м}^2/\text{с}$				
	$D_1$ (3600 с)	$D_2$ (7200 с)	$D_3$ (10800 с)	$D_4$ (14400 с)	$D_{24}$ (86400 с)
Контрольный	$2,87 \times 10^{-5}$	$1,49 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-5}$	$8,37 \times 10^{-6}$	$1,46 \times 10^{-6}$
Опытный (ВГД)	$2,9 \times 10^{-5}$	$1,57 \times 10^{-5}$	$1,11 \times 10^{-5}$	$8,62 \times 10^{-6}$	$1,51 \times 10^{-6}$
Опытный (РИО, 100 имп)	$2,88 \times 10^{-5}$	$1,53 \times 10^{-5}$	$1,09 \times 10^{-5}$	$8,64 \times 10^{-6}$	$1,49 \times 10^{-6}$
Опытный (РИО, 200 имп)	$2,93 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-5}$	$1,12 \times 10^{-5}$	$8,66 \times 10^{-6}$	$1,53 \times 10^{-6}$
Опытный (РИО, 300 имп)	$2,97 \times 10^{-5}$	$1,65 \times 10^{-5}$	$1,15 \times 10^{-5}$	$8,96 \times 10^{-6}$	$1,59 \times 10^{-6}$

При анализе приведенных в таблице данных, как и ожидалось, отмечена тенденция к увеличению коэффициента диффузии в кусках, обработанных высоким гидростатическим давлением или электрогидравлическими ударами по сравнению с контрольными образцами. Причем, количество сообщенных ударов при разрядно-импульсной обработке влияет на значение изучаемого параметра.

При обработке кусков мяса 100 импульсными разрядами в первый час  $D_1$  практически равен коэффициенту диффузии в контрольном образце, однако при двухчасовом интервале намечается разница в  $0,4 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Изменение коэффициента диффузии соли в мышечную ткань при обработке высоким гидростатическим давлением схоже с изменениями при обработке 100 импульсными разрядами. Наиболее эффективно, судя по полученным данным, диффузия соли в мышечную ткань проходила в образцах, обработанных 300 импульсами. Коэффициент диффузии в этом случае через час времени превышал аналогичный показатель в контрольном образце на  $1 \text{ мм}^2/\text{с}$ . После двух часов разница в значениях  $D$  составляла более  $1,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ , после чего начала постепенно спадать, что объясняется снижением градиента концентраций. Спустя 24 часа среднее значение коэффициента диффузии в опытных образцах также оказалось выше, чем в контрольных – на  $0,05 \text{ мм}^2/\text{с}$  при обработке высоким гидростатическим давлением,  $0,03 \text{ мм}^2/\text{с}$  при обработке 100 импульсами,  $0,07 \text{ мм}^2/\text{с}$  при воздействии 200 импульсами и  $0,13 \text{ мм}^2/\text{с}$  – при 300 импульсах.

Известно, что хлористый натрий ускоряет окисление гемовых пигментов мяса. Окисление гемовых центров приводит к образованию метпигментов, вследствие чего естественная окраска мяса сравнительно быстро исчезает и оно приобретает сероватый цвет с различными оттенками, причем чем больше соли проникает в мышечную ткань, тем более заметной становится такая окраска. На рис. 21 отчетливо виден след проникновения  $\text{NaCl}$  в образцы мышечной ткани.

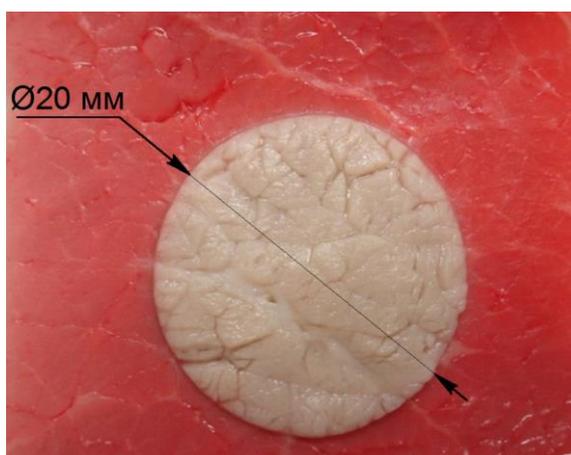


Рисунок 21 – Активная площадь диффузии хлорида натрия вглубь мышечной ткани

Диаметр серой окружности соответствовал диаметру отверстия между стенками емкостей А и Б, т.е. след от проникновения соли равнялся сечению диффузионного потока. Это доказывает справедливость решения использовать одномерное уравнение Фика, несмотря на анизотропные свойства мышечной ткани, а также верность произведенных расчетов, в которых активная площадь диффузии была принята  $3,14 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Согласно Соколову А.А. [136], при диффузии вдоль мышечных волокон средняя скорость проникновения соли в мышечную ткань в обычных условиях посола составляет около 0,59 мм/ч, при диффузии поперек волокон – около 0,39 мм/ч. При подобных скоростях миграции соли вглубь мышечной ткани изменение коэффициента диффузии на 0,15-1,5 мм<sup>2</sup>/с будет иметь значительный эффект, так как скорость посола возрастает прямо пропорционально коэффициенту диффузии.

Для получения эмпирической зависимости скорости посола от значения эффективного коэффициента диффузии были проведены исследования по концентрированию хлористого натрия на разной глубине контрольных и опытных образцов мяса.

Согласно рис. 10 (Глава 2), если принять толщину кусков  $H$ , то максимальная глубина проникновения соли находится на расстоянии  $h = H/2$  – в центральной плоскости внутреннего слоя.

Данные по определению концентрации соли на различной глубине исследуемых образцов представлены в таблицы 3.5 (в случае воздействия

высоким гидростатическим давлением) и 3.6 (в случае разрядно-импульсной обработки).

Таблица 3.5 – Содержание хлорида натрия на разной глубине контрольных и опытных образцов

Глубина, мм	Содержание соли в образце, %	
	Контрольный	Опытный (ВГД)
0-10	1.3±0.1	1,9 ±0,14
10-20	0,8±0.07	1,2±009
20-30	0.3±0.09	0,6±0,08

Результаты исследований показали, что использование высоких давлений при посоле мяса способствует увеличению скорости проникновения соли в глубину мышечной ткани. При обработке мяса ВГД между кусками мяса и средой возникает разность давлений, способствующая фильтрационному переносу растворенной соли в мясо, чем объясняется разница в 0,6% NaCl в поверхностных слоях контрольных и баростатически обработанных опытных образцов. Используемое давление в 400 МПа (Приложение Е) способно повысить нежность мяса за счет частичных разрывов мышечных волокон и разрыхления структуры, однако, так как при обработке давление равномерно распределялось по всем направлениям, значительного разрыхления опытных образцов не наблюдалось. Таким образом, при использовании высокого гидростатического давления проникновение соли в мышечную ткань в основном происходит по фильтрационному закону Дарси [186], тогда как диффузионно-осмотическое распределение соли по объему мяса протекает не намного интенсивнее, чем в контрольном образце.

Таблица 3.6 – Содержание хлорида натрия на разной глубине контрольных и опытных образцов

Глубина, мм	Содержание соли в образце, %			
	Контрольный	Опытный (РИО)		
		100 импульсов	200 импульсов	300 импульсов
0-10	1,8±0,1	2,1±0.12	2,3±0,11	2,8±0,13
10-20	1,3±0,06	1,5±0.09	1,6±0,15	2,1±0,08
20-30	0,9±0,04	1,2±0.11	1,3±0,12	1,5±0,12

При разрядно-импульсной обработке концентрация соли на разном расстоянии от поверхности кусков мяса также оказалась выше, чем в контрольных образцах. При этом концентрация соли в опытных образцах менялась пропорционально количеству импульсов при обработке.

Мышечное волокно, имея композитное строение, может выдержать значительные по силе статические напряжения. Однако динамические напряжения, в виде импульсно меняющихся гидравлических давлений, способны нарушить целостность структуры волокна, что может привести к увеличению количества поперечно-щелевидных нарушений, разрушению мембранных структур и разрыхлению мышечной ткани в целом, т.е. приведет к ее тендеризации. При таком эффекте выдержка обработанных кусков в рассоле приводит к набуханию мышечных волокон по всей толщине мяса за счет заполнения рассолом образующихся поперечно-щелевидных пространств и интенсивного проникновения соли в волокна через разрывы миофибриллярных мембран.

Обратившись к уравнению (5), показывающему характер распределения соли в толщине мышечной ткани, можно выразить коэффициент диффузии соли в мышечную ткань в случае обработки гидростатическим и гидродинамическим давлениями:

$$D = k \frac{h^2}{4\tau \ln \frac{c_1}{c_2}}, \quad (52)$$

Вычислив коэффициент диффузии соли в глубину кусков мяса в момент времени  $\tau = 24$  ч., получим значения:

$$D_{24} \text{ для контрольного образца (сухой посол)} = 0,89 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{24} \text{ для опытного образца (сухой посол под ВГД)} = 1,18 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{24} \text{ для контрольного образца (мокрый посол)} = 1,39 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{24} \text{ для опытного образца (100 имп)} = 1,44 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{24} \text{ для опытного образца (200 имп)} = 1,49 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{24} \text{ для опытного образца (300 имп)} = 1,62 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

При сухом посоле кусков говядины с воздействием высоких гидростатических давлений эффект концентрирования соли в глубине мышечной ткани оказался выше, чем при классическом сухом посоле контрольных образцов. Тем не менее, судя по полученным данным, даже при использовании ВГД коэффициент диффузии соли при сухом посоле оказался ниже, чем при классическом мокром. С учетом того, что использование ВГД в первую очередь направлено на тендеризацию сырья и подавление развития микрофлоры, ускорение проникновения соли в глубину мышечной ткани также можно отнести к одному из преимуществ использования данного метода перед классическими способами обработки мяса.

Полученные значения коэффициента диффузии соли в мышечную ткань при мокром посоле коррелируют со значениями, полученными в предыдущем исследовании. Использование разрядно-импульсной обработки в технологии мокрого посола мясного сырья способствует ускорению проникновения и распределения хлорида натрия в глубине мышечной ткани, т.е. интенсификации процесса посола.

### **3.6. Влияние разрядно-импульсной обработки на микроструктуру мышечной ткани**

В процессе посола происходит проникновение, распределение и присоединение соли и посолочных веществ к белкам мышечных волокон, что сказывается на морфологической структуре мышечной ткани.

Как известно, при традиционном длительном мокром посоле, несмотря на заметный протеолиз, мышечные волокна мясного сырья практически не разрушаются, но существенно меняют свой диаметр. Согласно Нарыжному А.Г. [90], диаметр мышечных волокон на вторые сутки посола сокращается, но после 4-5 суток начинает возрастать, а к концу процесса превышает начальную величину. В процессе посола отчетливо изменяется внутренняя структура мышечных волокон. Уже через 12 ч поперечная исчерченность становится менее

заметной, либо вовсе исчезает; происходит разрушение и слияние в аморфную массу белков миофибрилл.

Большаковым А.С. отмечено, что использование интенсивных воздействий в процессе посола увеличивает количество поперечных микротрещин и щелей в мышечных волокнах, приводит к их фрагментации. Наряду с деструкцией мышечных волокон возникают локальные разрушения сарколеммы. Они ускоряют проникновение рассола в глубину волокон [21].

Выход мелкозернистой белковой массы, исчезновение или ослабление поперечной исчерченности, набухание мышечных волокон и прочие микроструктурные изменения мышечной ткани свидетельствуют о высоком градиенте концентрации и быстром распределении хлорида натрия.

Наиболее наглядным методом оценки состояния мышечной ткани, позволяющим на микроструктурном уровне определить эффективность посола, являются гистологические исследования.

С целью исследования влияния разрядно-импульсной обработки на структуру мышечной ткани были проведены гистологические исследования контрольных и опытных образцов мяса после 24 ч выдержки в рассоле. Состав рассола приведен в Главе 2 (раздел 2.2).

При микроскопии приготовленных гистологических срезов опытных образцов отмечалось частичное разрушение структуры мышечной ткани, а также набухание мышечных волокон (рис.22, 23), что свидетельствует об интенсивном проникновении и распределении соли в толще кусков мяса, а также деструктивном влиянии электрогидравлических ударов на структуру мышечной ткани.

Детальное изучение продольных гистологических срезов контрольных образцов показало, что мышечные волокна представляли собой плотно прилегающие друг к другу прямые структуры со слабо заметной поперечной исчерченностью. Границы волокон, как и расстояние между ними, в большей степени, были сохранены.

В гистологических срезах опытных образцов отмечено утолщение мышечных волокон, наблюдалось отсутствие поперечной исчерченности, в некоторых участках – отсутствие ядер, подвергшихся деструкции по мере увеличения количества импульсов при обработке. Как видно из рис. 22, мышечные волокна опытных образцов слегка извитые, что, возможно, вызвано интенсивной адсорбцией влаги активными центрами миофибриллярных белков. Этим же вызвана сильно проявляющаяся в гистологических срезах опытных образцов гофрированность, являющаяся следствием активного проникновения соли в волокна при высокой скорости диффузии и осмотического распределения рассола. Так, примерно, в каждом 3-4 волокне опытных образцов №1 и №2 наблюдалась четко выраженная гофрированность волокон, а в образцах №3 количество гофрированных волокон достигало 50-60%. Поперечная исчерченность волокон на снимках опытных образцов ослаблена, а в последнем (обработка 300 имп.) – не выражена. В опытных образцах имеются множественные повреждения и деформации волокон, наиболее сильно проявляющиеся при обработке 300 импульсами. В пространствах между волокнами образцов №1-3 заметно незначительное количество белковой массы. Белковая масса представляет собой растворимую фракцию, перешедшей в процессе массобмена в рассол, который в значительной степени заполнил межволоконное пространство.

На рис. 23 видно, что поперечные срезы контрольных и опытных образцов мышечных волокон представлены в полигональной и округлой формах. Общая картина совпадает с результатами исследований продольных гистологических срезов. Волокна контрольных образцов плотно прилегали друг к другу. Как диаметр мышечных волокон, так и расстояние между мышечными волокнами заметно увеличилось после разрядно-импульсной обработки. При исследовании проб мяса, выделенных на глубине более 2 см, статистической достоверности по диаметру мышечных волокон контрольного и опытных образцов выявлено не было. Однако, пробы, взятые на глубине до 2 см, характеризовались более значительным колебанием диаметра волокон (рис.24).

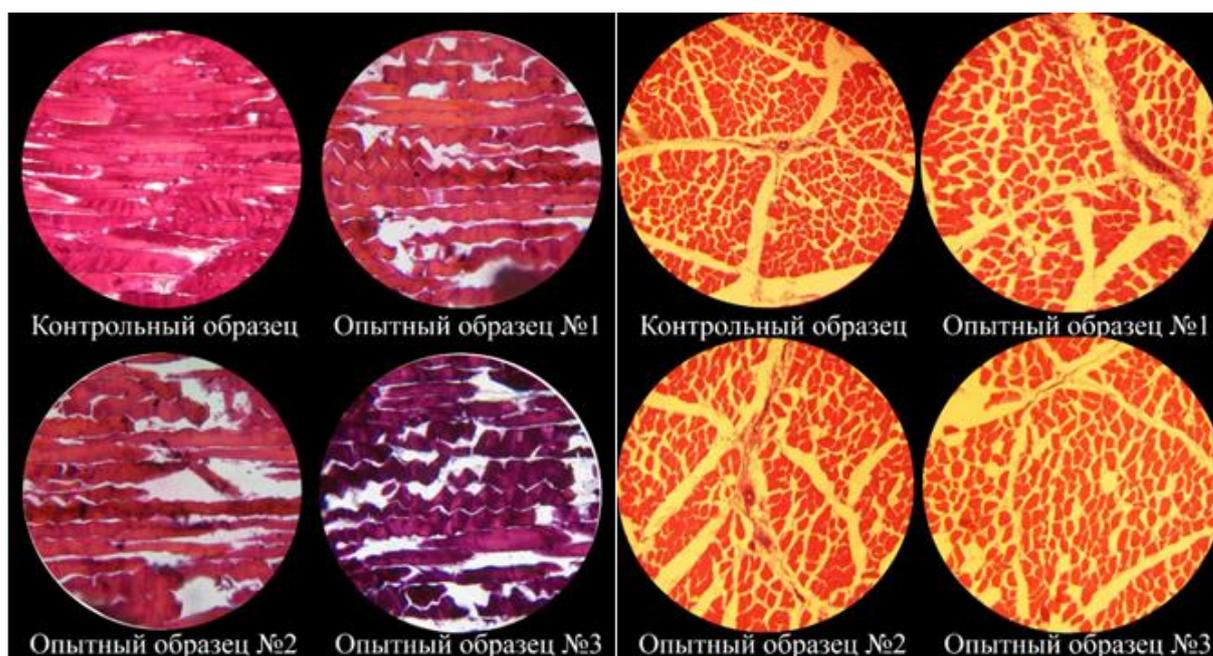


Рисунок 22 – Продольные гистологические срезы мышечных волокон, окрашенных гематоксилином и эозином (увеличение  $\times 200$ )

Рисунок 23 – Поперечные гистологические срезы мышечных волокон, окрашенных гематоксилином и эозином (увеличение  $\times 100$ )

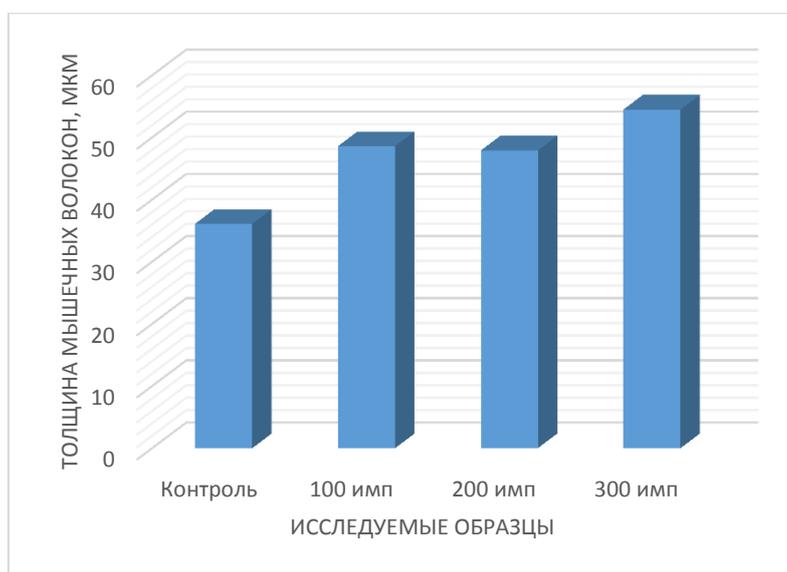


Рисунок 24 – Динамика изменения диаметра мышечных волокон контрольного и опытных образцов

По данным диаграммы, представленной на рис. 24, диаметр мышечных волокон опытных образцов, по сравнению с контрольным, увеличился в среднем

на 32-51%, что заметно как на продольных, так и на поперечных гистологических срезах. Повышение степени набухаемости белков мышечной ткани способствует увеличению показателя влагосвязывающей способности (ВСС).

Таким образом, микроструктурные исследования продольных и поперечных гистосрезов мышечных волокон контрольного и опытных образцов показали, что разрядно-импульсная обработка мясного сырья в рассоле оказывает деструктивное воздействие на волокна, способствует заполнению пространства между ними рассолом и ускорению проникновения соли вглубь мышечной ткани. Это проявляется в разволокнении с нарушением фрагментации миофибрилл, частичных разрывах структуры волокон, изменении формы волокон на гофрированную и извитую. Высокое давление, возникающее при пробое разряда в рассоле, активизирует фильтрационный перенос рассола в объем мяса, а также непосредственно влияет на мышечные волокна. Несмотря на высокую прочность волокон на растяжение и сжатие, серия ударных волн, сопровождающих электрогидравлический эффект, а также ультразвуковое излучение, по-видимому, способствуют разволокнению и разрушению микроструктуры мышечной ткани. Деструкция волокон и увеличение пространства между волокнами, заполненного рассолом, приводит к разрыхлению мясного сырья, т.е. происходит его тендеризация. При этом отмечается интенсивное набухание волокон и, как следствие, увеличение их диаметра в опытных образцах. Скорее всего, это связано с тем, что разрыхление миофибриллярных структур сопровождается увеличением количества свободных функциональных групп, способных связывать воду. Также увеличивается влагосвязывающая способность (ВСС), которая повышается за счет ионизации хлорида натрия и активации образования новых активных центров белков, возникающих вследствие образования в рабочей жидкости мощных электромагнитных полей. Другим немаловажным фактором является скорость проникновения и распределения соли в мышечной ткани. Предположительно, ударные волны способствуют разрыхлению мышечной структуры, за счет чего увеличиваются проницаемость мышечной ткани и площадь контакта волокон с рассолом. Помимо гофрированности волокон и их

диаметра, об увеличении скорости посола свидетельствует наличие мелкозернистой белковой массы в межволоконном пространстве, количество которой было существенно больше в опытных образцах, чем в контрольных, т.е. массообменные процессы в обработанных кусках проходили быстрее.

Более детальные гистологические исследования характера изменения микроструктуры мясного сырья, была проведена методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) волокон мышечной ткани.

Для проведения АСМ проб помимо контрольных и опытных образцов, выдержанных в рассоле в течение 24 часов, исследовались и образцы мышечной ткани без какого-либо технологического воздействия. Небольшие пучки мышечных волокон, выделенные из проб каждого вида образцов, устанавливались на твердую подложку (слюда), по методике, описанной в главе 2, и направлялись на зондовое микроскопирование. Исследование проводилось в полуконтактном режиме. Результаты сканирования поверхности выделенных волокон представлены на рисунках 25-29 (3D, 2D и профиль высоты).

Как видно из представленных рисунков поверхности волокон и размеров неровностей на центральной оси отсканированного диапазона мышечной ткани образца, не подвергнутого технологической обработке, характеризовалась сравнительно гладкой поверхностью волокон (рис. 25). Полученный профиль высоты волокон свидетельствует, что шероховатость колеблется в пределах нескольких десятков нанометров.

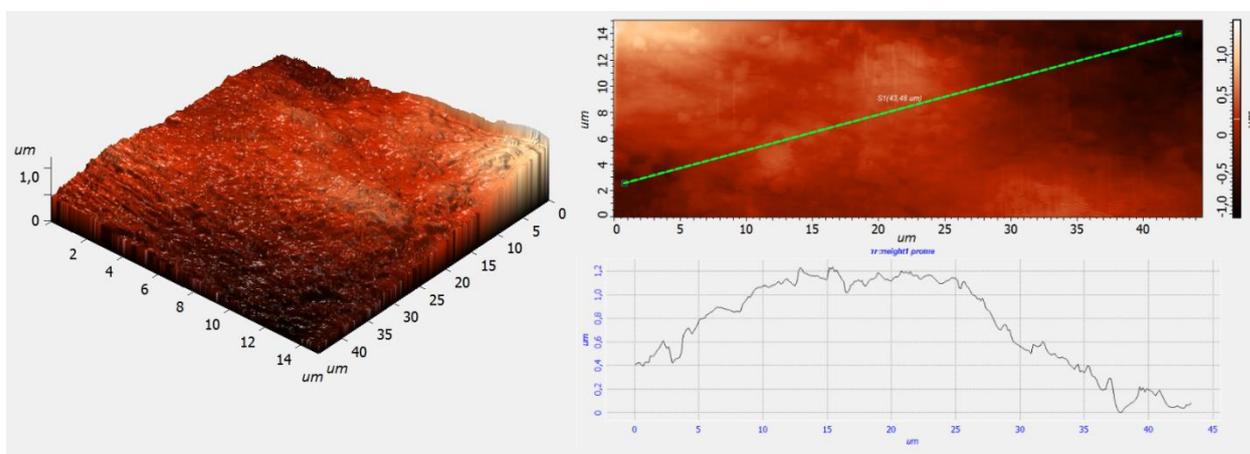


Рисунок 25 – Атомно-силовая микроскопия нативного образца

Исследование проб контрольного образца после посола (рис. 26) показало, что шероховатость поверхности волокон имеет более существенные перепады, достигающими 200 нм. Опытные образцы после РИО характеризовались еще более заметной неровностью поверхности, что, по-видимому, связано с локальными изменениями в структуре волокон, выявленных в настоящей работе при гистологическом исследовании.

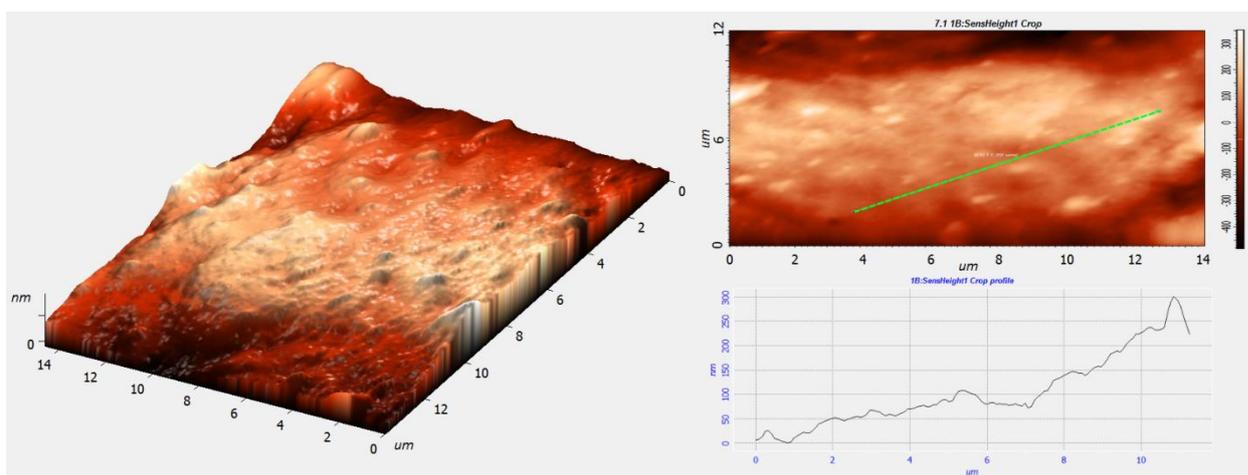


Рисунок 26 – Атомно-силовая микроскопия контрольного образца

По результатам исследования опытного образца, подвергнутого воздействию 100 импульсного разряда (рис. 27) видно, что уровень шероховатости, по сравнению с контрольным образцом, имеет более выраженный характер, что подтверждает и характеризующий ее график профиля сечения.

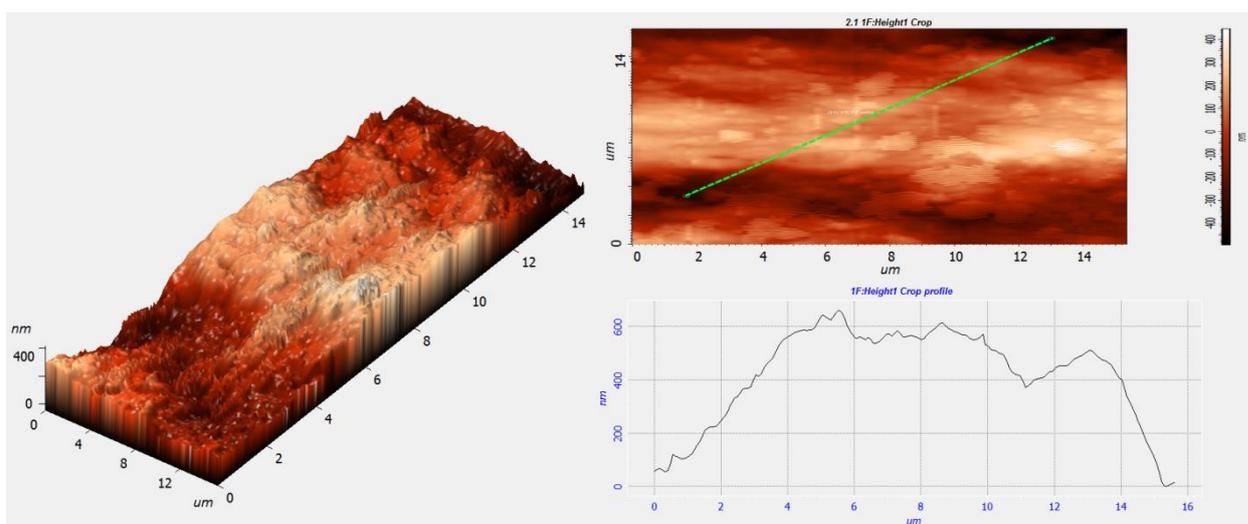


Рисунок 27 – Атомно-силовая микроскопия опытного образца, подвергнутого обработке 100 импульсным разрядам

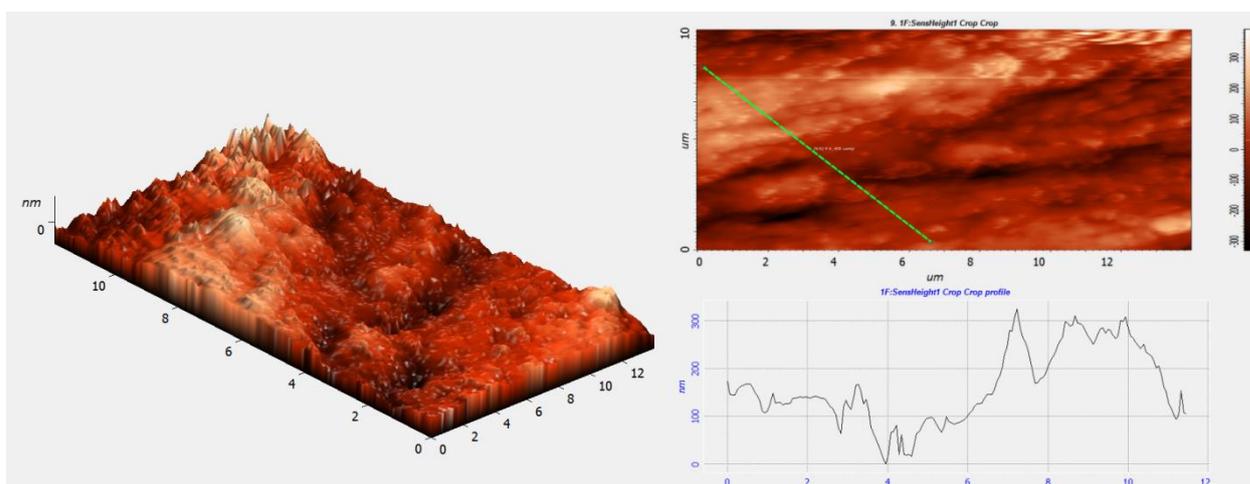


Рисунок 28 – Атомно-силовая микроскопия опытного образца, подверженного обработке 200 импульсным разрядам

Опытные образцы, обработанные 200 и 300 импульсными разрядами (рис. 28 и 29 соответственно), так же подтверждают выявленную тенденцию по деструктивному изменению структуры волокон. На рис. 28 наблюдается более высокий уровень шероховатости, а повышенная исчерченность образца на рис. 29 свидетельствует о наибольшей степени разрыхления мышечной ткани при обработке 300 импульсов, что, скорее всего, происходит за счет разрыва волокон и увеличения микротрещин, выявленных в процессе гистологического исследования образцов.

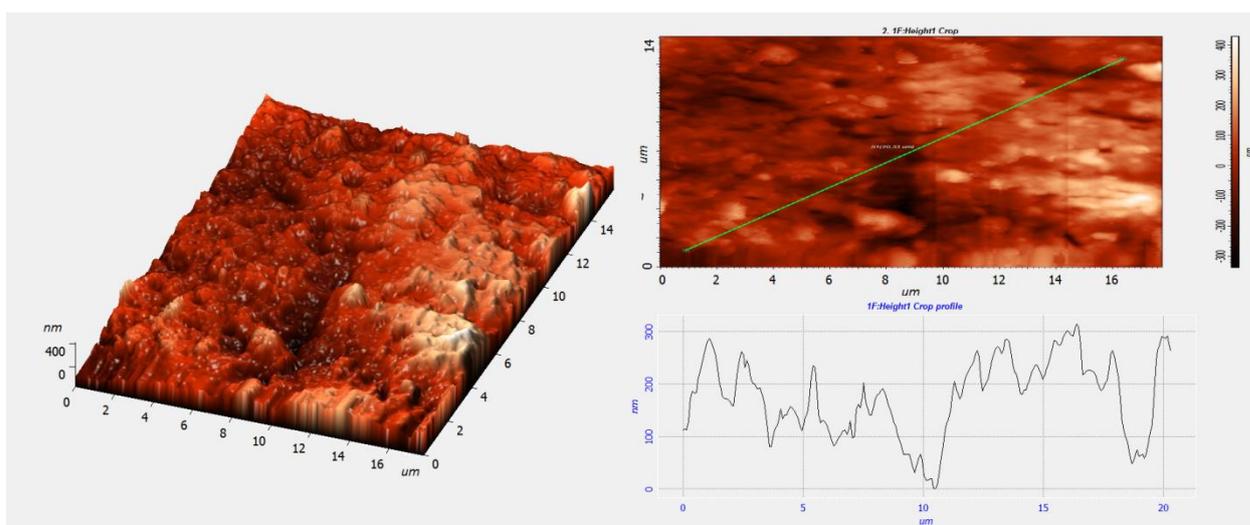


Рисунок 29 – Атомно-силовая микроскопия опытного образца, подверженного обработке 300 импульсным разрядам

На полученных с помощью атомно-силовой микроскопии изображениях опытных и контрольного образцов, можно наблюдать свободно расположенные

фрагментированные частицы, которые, вероятнее всего, представляют собой белковые агломераты, оказавшиеся на поверхности в результате обменной диффузии между мясом и рассолом. С целью идентификации обнаруженных частиц, по полученным сканам были построены гистограммы, отражающие их средний размер и количество (рис. 30).

Гистограмма, характеризующая контрольный образец (рис. 30,А) свидетельствует о достаточно крупном размере (по сравнению с размерами, входящих в агломерат основных белков мышечной ткани) расположенных на поверхности частиц, который составляет от 1,5 до 3,5 мкм. Опытный образец №1 (рис. 30,В) имеет наибольшее количество частиц размером около 1,5 мкм. Образцы №2 и №3 характеризуются меньшим средним размером и их большим общим количеством. В образце №2 (рис. 30, С) большее количество частиц имеют размер около 1 мкм, а в №3 (рис. 30, D) – около 0,5 мкм.

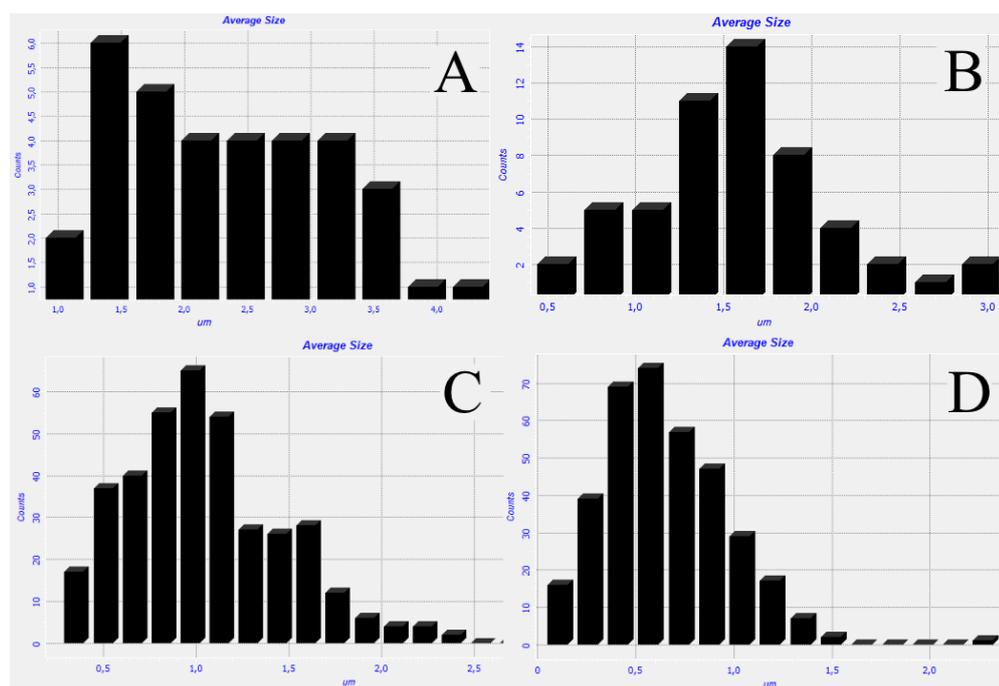


Рисунок 30 – Гистограмма распределения размеров частиц: А) контрольный образец; В) опытный образец №1 (100 импульсов); С) опытный образец №2 (200 импульсов); D) опытный образец №3 (300 импульсов);

Представленное на гистограмме распределение размерных характеристик можно объяснить особенностью обработки исследуемых образцов. Так в опытных

образцах, вероятнее всего, при обработке импульсными разрядами, за счет скорости выхода белковых комплексов (агломератов) на поверхность, их количество преобладает над аналогичными в контрольном образце. Благодаря частичному предотвращению ассоциированного взаимодействия между белками под действием хлорида натрия, их размерные характеристики имеют меньшее значение, чем у контрольного образца. Исходя из величины перепадов высот, характеризующих уровень шероховатости опытных образцов, (по данным профилей сечения поверхности волокон), можно сделать вывод, что нарушение целостности волокон (преимущественно в опытных образцах), возможно, имеет прямую связь с процессом фрагментации миофибрилл, частичными разрушениям сарколемм или разволокнением миофиламентов.

Локальная деструкция мышечных волокон и их составных частей при интенсивном набухании волокон в среде рассола, заполнившего межволоконное пространство, могут в значительной степени повлиять на механические свойства мышечной ткани и ее основных компонентов.

### **3.7. Исследование влияния разрядно-импульсной обработки на структурно-механические и функционально технологические свойства мясного сырья**

При исследовании микроструктуры контрольного и опытных образцов мясного сырья было выявлено, что при разрядно-импульсной обработке происходит разрыхление мышечной ткани за счет разрыва волокон, увеличения микротрещин и заполнения межволоконного пространства рассолом. Такие изменения могут отразиться на изменении структурно-механических свойств сырья, способствуя его тендеризации. При исследовании свойств мышечной ткани представляет интерес ее деформационное поведение при разрядно-импульсной обработке. Деформационные изменения мышечной ткани во многом зависят от прочности мышечных волокон.

Мышечное волокно представляет собой довольно сложный объект для измерения его жесткости, в связи с тем, что механические характеристики волокна определяются структурно-функциональным взаимодействием трех его составных частей с принципиально различными механическими свойствами: миофибриллярного аппарата, костамеров и сарколемм [103].

Модуль упругости и жесткость мышечных волокон исследуемых образцов мяса рассчитывали, исходя из результатов АСМ. Вычисление параметров жесткости образца по данным атомной силовой микроскопии относится к области решения пространственных контактных задач. Контактная жесткость, которую необходимо вычислить, определяется как отношение силы к вертикальному перемещению [156].

В современной литературе представлено относительно небольшое количество работ, посвященных исследованию жесткости мышечных волокон. Базисом при изучении вопроса механических свойств волокон мышечной ткани контрольных и опытных образцов мяса с помощью АСМ служили работы Огневой И.В. (2011), Ефремова Ю.М. (2014), L.R. Nyland, D.W. Maughan, N. Akiyama et al. (2006) [63,103-105,157,197].

Измерения модуля Юнга проводили путем вдавливания острия зонда в клетку и получения силовых кривых [63]. Модуль упругости вычисляли по полученным экспериментальным данным, используя различные модификации решения контактной задачи Герца. Задача Герца определяет зависимость силы, возникающей при сближении двух упругих тел, от величины их относительного перемещения при вдавливании друг в друга.

При исследовании упругости мышечных волокон оценка модуля упругости волокна усложнялась тем, что механические свойства его структур анизотропны, т.е. зависят от того, в каком направлении приложены нагрузки. Но, согласно трудам Огневой И.В., наличие доминирующей оси в строении мышечного волокна позволяет считать его трансверсально изотропным, а также несжимаемым, поскольку коэффициент Пуассона для него обычно принимают равным 0,5 [205].

Силовые кривые, полученные во время силовой спектроскопии волокон, отображены в Приложении Г. В Приложении Д представлен типовой расчет коэффициента жесткости и модуля упругости волокна по силовым кривым, полученным с одной из 18 точек. Результаты расчета коэффициента жесткости и модуля упругости волокон исследуемых образцов приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7. – Результаты расчета коэффициента жесткости и модуля упругости волокон исследуемых образцов

Показатель	Нативный образец	Контрольный образец	Опытные образцы		
			100 имп.	200 имп.	300 имп.
Жесткость волокон, пН/нм	10,5±0,3	11,7±0,4	9,6±0,3	9,4±0,2	8,7±0,4
Модуль Юнга, кПа	52,4±1,4	68,7±2,2	43,8±1,3	41,6±1,7	33,5±2,1

Согласно приведенным данным, значения коэффициента жесткости волокон мышечной ткани контрольного образца оказались существенно ниже, чем в нативных образцах. Увеличение жесткости волокон мяса, выдержанного в рассоле в течение 24 ч, по-видимому, связано с обезвоживанием, наиболее интенсивно протекающим как раз в первые сутки посола. Обезвоживание волокон мышечной ткани при посоле вызвано более высоким осмотическим давлением рассола в сравнении с осмотическим давлением тканевой жидкости. При выравнивании осмотического давления диффузия увеличивается в сторону перехода посолочных веществ из рассола в мышечную ткань. При использовании разрядно-импульсной обработки рассол в виде гидродинамических ударов принудительно проникает в мышечную ткань. За счет частичных разрушений волокон, выявленных на гистологических срезах опытных образцов, рассол быстрее проникает в волокна, происходит их гидратация и набухание, и, следовательно, изменение механических свойств. С точки зрения биофизики, чем больше диаметр мышечных волокон, тем больше жесткость мяса, так как саркоlemma более толстых волокон сильнее развита и более прочна. В [112] отмечается, что с увеличением диаметра волокна на 10% сопротивление резанию возрастает на 20-30 %. При посоле возникает обратная тенденция – увеличение диаметра волокон

за счет набухания приводит к снижению прочностных характеристик. Так, жесткость волокон опытных образцов оказалась ниже, чем в контрольных на 12,2-13,4% и на 10,9-12,1%, чем в нативных. При этом наименьшая жесткость волокон была у образца, обработанного 300 импульсными разрядами. Значения модуля упругости коррелировали со значениями жесткости волокон, причем величина данного показателя была наибольшей у контрольного образца. Более высокая жесткость контрольных образцов, скорее всего, связана со смещением вектора массообмена жидкостями в сторону рассола на ранних этапах посола.

Полученные значения коэффициента жесткости волокон контрольных и опытных образцов коррелируют с изменением величины диаметра волокон. Коэффициент корреляции (коэффициент Спирмена) равен 0,9.

Достоверность полученных результатов определяли по методу множественных сравнений Шеффе, согласно которому жесткость волокон в образцах, обработанных 100 и 200 импульсами достоверно ( $p=0,84$ ) не отличается друг от друга. Во всех остальных случаях жесткость и модуль упругости волокон образцов достоверно отличаются.

Модуль упругости (модуль Юнга) по определению – это физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться упругой деформации. Изменение значений модуля Юнга при исследовании волокон интактных, контрольных и опытных образцов соответствует изменению жесткости волокон. Деструкция компонентов мышечной ткани во время разрядно-импульсной обработки способствовала снижению сопротивления мышечных волокон к напряжению. Если представить мышечное волокно стержнем постоянного сечения, модуль Юнга можно выразить через коэффициент жесткости как:

$$E = \frac{kl}{S}, \text{ кПа} \quad (53),$$

Где  $l$  – средняя длина волокон, м;

$S$  – сечение волокон, равное  $\frac{\pi d^2}{4}$  при условии, что волокна представляют собой сплошные цилиндры.

Тогда из (54) можно выразить среднюю длину волокон:

$$l = \frac{k}{ES}, \text{ м} \quad (54)$$

Произведенные расчеты средней длины волокон показали, что длина волокон мышечной ткани контрольных образцов (5,32 см) оказались больше длины опытных образцов (4,76 см (100 имп.), 5,02 (200 имп.), 4,99 (300 имп.)). Сокращение средней длины волокон опытных образцов, по-видимому, связано с частичными разрывами, происходящими при разрядно-импульсной обработке, что также подтверждает результаты гистологических исследований.

Таким образом, зондовая микроскопия волокон исследуемых образцов показала, что электрогидравлический эффект, возникающий в рассоле при разрядно-импульсной обработке, влияет на структуру компонентов мышечной ткани, снижая их прочностные характеристики, что приводит к размягчению мышечной ткани в целом. Следовательно, можно предположить, что мясопродукты, полученные из обработанного импульсными разрядами сырья, будут характеризоваться высокой нежностью и низкими потерями при тепловой обработке. В связи с этим необходимо провести исследования влияния РИО на структурно-механические и функционально-технологические свойства сырья и готового продукта.

По-видимому, под воздействием ультразвуковых излучений происходит деструкция составных компонентов волокон, а под действием мощных электромагнитных полей происходит интенсивное проникновение вглубь мышечной ткани и присоединение соли вследствие ее ионизации и активации миофибриллярных белков. АСМ волокон исследуемых образцов показала изменения физико-механических свойств мышечной ткани на микроуровне. Для определения физических свойств мяса на макроуровне было проведено исследование его структурно-механических свойств (СМС).

Структурно-механические свойства характеризуют поведение продукта в условиях напряженного состояния и позволяют связать между собой напряжения, деформации или скорости деформаций в процессе приложения усилий [4].

Одним из наиболее важных параметров, характеризующих структурно-механические свойства сырья является консистенция. Для оценки консистенции контрольных и опытных образцов мяса были проведены исследования по определению предельного напряжения среза и пластичности мясного сырья. Полученные результаты исследований приведены на рис. 31, 32.

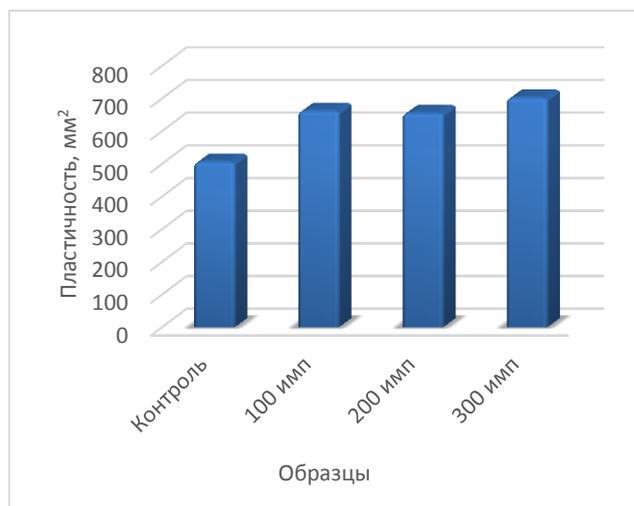
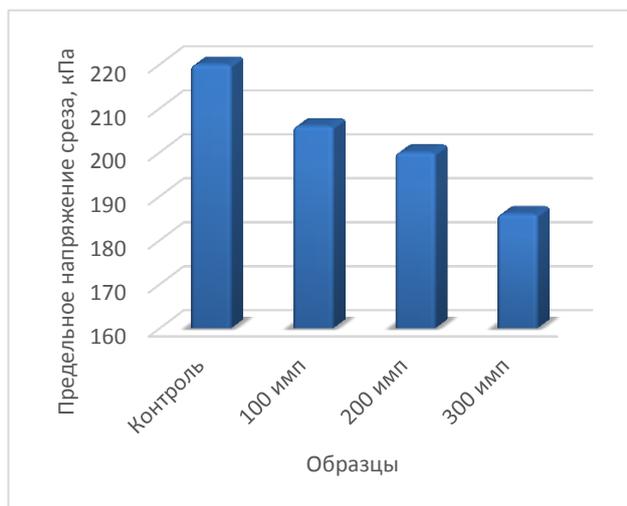


Рисунок 31 – Результаты исследования предельного напряжения среза контрольных и опытных образцов

Рисунок 32 – Результаты исследования пластичности контрольных и опытных образцов

Полученные данные, характеризующие величину предельного напряжения среза (ПНС) и пластичности кусков мяса контрольных и опытных образцов, свидетельствуют о повышении нежности мяса под действием электрогидравлического эффекта. Так, при обработке мясного сырья 100 импульсами происходит снижение показателя ПНС на 10,7%. Обработка 200 импульсами способствует снижению рассматриваемого показателя еще на 3%. Минимальное значение ПНС, которое на 11,8% меньше, чем в контрольных, соответствует образцам, обработанным 300 импульсами (186 кПа). В то же время в опытных образцах, по сравнению с контрольными, наблюдается увеличение пластичности. Максимальная разница в пластичности контрольных и опытных образцов составила 39%.

Как видно из результатов исследований структурно-механических свойств опытных образцов, с увеличением количества сообщаемых системе рассол-мясо электрических импульсов, снижается предельное напряжение среза и повышается пластичность мышечной ткани.

Установлено, что структурно-механические свойства сырья связаны с его функционально-технологическими свойствами (ФТС) и изменяются в зависимости от содержания и формы связи влаги. С целью изучения динамики изменения содержания влаги и степени гидратации белков мышечной ткани при разрядно-импульсном воздействии, были проведены исследования по определению основных показателей ФТС контрольных и опытных образцов.

При контроле изменения массы исследуемых образцов до и после посола была выявлена тенденция к увеличению выхода посоленного сырья в зависимости от количества пробиваемых импульсов в процессе разрядно-импульсной обработки (рис. 33).

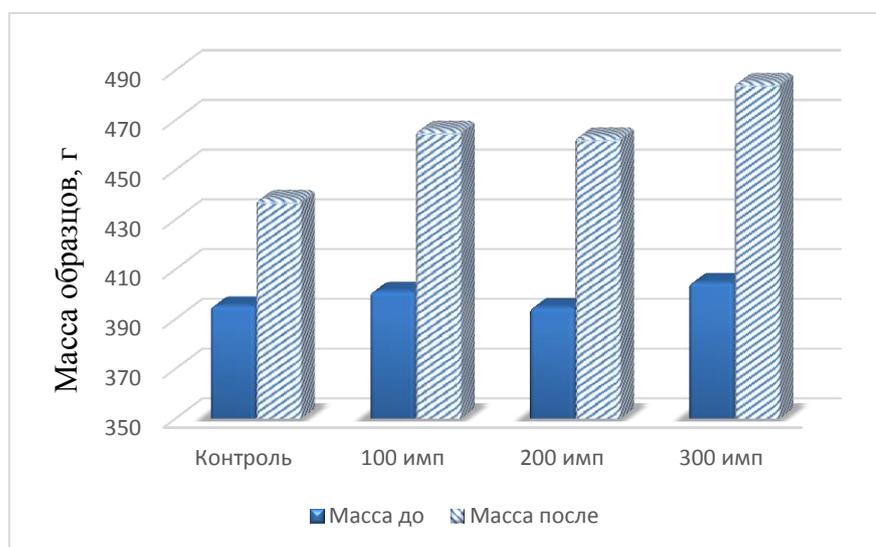


Рисунок 33 – Изменение массы посоленного сырья

Согласно представленным на рис. 32 диаграммам, выход образцов говядины, выдержанных в рассоле в течение 24 часов составил 111%. Использование разрядно-импульсной обработки позволило повысить выход мясного сырья после посола. Существенной разницы в значении выхода образцов мяса, обработанных 100 и 200 импульсами не наблюдалось, так как их масса увеличивалась в среднем на 116% и 117% процентов соответственно. Опытные

образцы, обработанные 300 импульсами, изменили массу при выдержке в рассоле на 24%, что сравнимо с выходом мяса при массажировании.

Изменения массы образцов обусловлены интенсивностью проникновения рассола в мышечную ткань и гидратацией белков. Так, на основании расчета коэффициента Спирмена (0,9) подтверждена корреляционная связь между толщиной волокон и массой образцов.

Содержание влаги и способность белков удерживать ее при различных видах воздействий во многом зависят от уровня pH сырья. Борисенко Л.А., Борисенко А.А. и Брачихин А.А. эмпирически вывели, что ВСС сырья имеет выраженный, подчиняющийся графической интерпретации характер  $VSS = f(pH)$  [25]. Проведенные учеными исследования закономерности подчинения ВСС как функции от pH показали, что при повышении кислотности сырья на 0,15-0,25 ед. влагосвязывающая способность может увеличиться на 15-20%. Результаты исследования pH, содержания общей влаги и влагосвязывающей способности рассматриваемых образцов мяса показали аналогичную тенденцию (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Результаты исследования содержания и формы связи воды в исследуемых образцах

Наименования показателя	Контрольные образцы	Опытные образцы		
		100 имп	200 имп	300 имп
pH, ед	5,71 ± 0,04	5,85 ± 0,06	5,91 ± 0,02	6,09 ± 0,05
Содержание влаги, %	71,3 ± 0,8	75,5 ± 0,8	76,4 ± 0,7	78,1 ± 0,9
ВСС, % к общей влаге	73,8 ± 1,2	82,9 ± 2,6	85,6 ± 1,8	91,3 ± 1,4

Исследование pH водных вытяжек мышечной ткани контрольных и опытных образцов позволило выявить увеличение кислотности в сторону нейтральных значений среды при обработке сырья импульсными электрическим разрядами. Изменение pH, возможно, связано с активацией рассола и его интенсивным проникновением в опытные образцы.

Во время разрядно-импульсной обработки происходит фильтрационный перенос рассола вглубь мышечной ткани за счет динамически меняющихся давлений. Ионизация соли и активация полярных групп белков под действием электромагнитных полей способствовали лучшей гидратации волокон, что

отразилось на содержании общей влаги. Мясное сырье, обработанное 100 импульсами, после выдержки в рассоле содержало на 4,2% больше влаги, чем необработанное сырье. При сравнении опытных образцов, обработанных 100 и 200 импульсами, статистически достоверной разницы в содержании влаги не установлено. Образцы мяса, подверженные воздействию 300 импульсных разрядов, содержали наибольшее количество воды (78,1%), что соответствует результатам определения прироста массы посоленного сыря.

Величина влагосвязывающей способности непосредственно зависит от количества установившихся адсорбционных связей между активными центрами белков и ионами  $\text{Na}^+$  и (преимущественно)  $\text{Cl}^-$ . Согласно приведенным в таблице 3.8 данным, при разрядно-импульсной обработке адсорбционные процессы протекали более интенсивно. ВСС опытных образцов оказалась выше, чем у контрольных на 9%-18% в зависимости от количеств сообщаемых импульсов.

Зависимость ВСС мышечной ткани от изменения рН можно выразить графически и линеаризовать, получив линию тренда (полиномиальной линии регрессии):

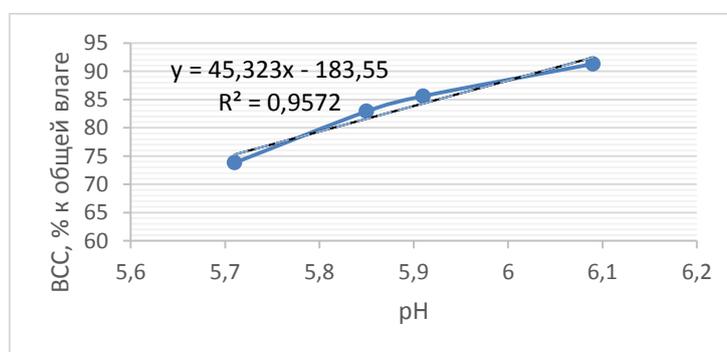


Рисунок 34 – Зависимость ВСС мышечной ткани от рН образцов при разном количестве импульсов в процессе РИО

Согласно линии тренда, характер зависимости ВСС от изменения рН будет иметь вид:  $VCC = 45,3pH - 183,6$ . Таким образом, регулируя изменение рН мясного сыря при разрядно-импульсной обработке, можно будет с определенной точностью (достоверность аппроксимации = 0,96) прогнозировать увеличение ВСС образцов.

### 3.8. Исследование влияния тепловой обработки на показатели качества модельных систем

Тепловая обработка оказывает значительное влияние на свойства, состав и, соответственно, пищевую ценность мяса. В связи с этим представляет интерес исследование качества мяса, подверженного разрядно-импульсной обработке, после термической обработки.

Термическую обработку посоленных образцов проводили по схеме, описанной в главе 2. В таблице 3.9 представлены результаты исследований изменения химического состава, физико-химические и структурно-механические показатели мясного сырья после термической обработки и охлаждения продукта до температуры 8°C.

Таблица 3.9 – Влияние РИО на показатели качества исследуемых образцов после термической обработки

Показатель	Контрольные образцы	Опытные образцы		
		100 импульсов	200 импульсов	300 импульсов
<i>химический состав</i>				
Содержание влаги, %	62,6±0,4	66,2±0,5	67,6±0,8	68,7±1,1
Содержание белка, %	19,27±0,2	18,52±0,2	18,36±0,2	18,29±0,2
Содержание жира, %	7,65±0,06	6,26±0,04	6,14±0,04	5,97±0,04
Содержание золы, %	5,51±0,05	4,42±0,1	4,18±0,05	4,03±0,1
Содержание соли, %	2,24±0,3	2,54±0,2	2,61±0,4	2,71±0,2
<i>физико-химические показатели</i>				
pH	5,82±0,06	6,01±0,06	6,13±0,02	6,15±0,04
ВУС, % к общей влаге	70,3±1,3	76,7±0,8	78,2±0,5	81,0±1,2
Активность воды	0,9574	0,9501	0,9488	0,9472
Потери при тепловой обработке, %	29,5±0,4	26,6±1,1	24,1±0,7	21,9±0,6
Выход, % к массе несоленого сырья	81,3±0,8	89,5±1,2	93,3±0,9	97,9±0,7
<i>структурно-механические показатели</i>				
Усилие среза, Н				
- вдоль волокон	1,05±0,05	0,95±0,05	0,9±0,05	0,75±0,05
- поперек волокон	1,2±0,05	1,05±0,05	0,95±0,05	0,85±0,05
Глубина пенетрации, мм				
- вдоль волокон	3,8±0,1	4,2±0,2	4,4±0,1	4,6±0,1
- поперек волокон	2,9±0,1	3,2±0,1	3,5±0,1	3,7±0,1
Предел прочности на разрыв, кПа	223±5	195±6	181±6	164±4

Согласно полученным данным, выход контрольных образцов после термической обработки составил 81,3% к массе несоленого сырья. При разрядно-импульсном воздействии потери, сопровождающие тепловую обработку, оказались меньше, чем в контрольной группе. Так, при обработке 100 импульсами выход готового продукта составил 89,5%, что на 3,8% меньше, чем у образцов, обработанных 200 импульсами (93,3%). Выход образцов, подверженных в процессе посола 300 импульсным разрядам, составил 97,9%, что на 16,6% больше, чем у необработанного продукта.

РИО также оказала непосредственное влияние на изменение в химическом составе исследуемых образцов. Содержание влаги в готовых продуктах существенно разнилось и зависело от количества сообщенных системе «рассол-мясо» импульсов в процессе разрядно-импульсной обработке. Согласно результатам, представленным в табл. 3.9, содержание влаги в контрольном образце готового продукта составило 62,6%, что на 3,6% меньше, чем в опытном образце, обработанном 100 импульсами. Содержание влаги в готовом продукте, обработанном 200 импульсами, составило 67,6%, а третьем опытном образце – 68,7%. Содержание белка в опытных образцах несколько меньше, чем в контрольном, что, по-видимому, связано с увеличением содержания влаги. Согласно представленным данным, водоудерживающая способность в необработанных образцах готового продукта оказалась ниже, чем в обработанных образцах на 6,4% (при обработке 100 импульсами), на 7,9% (при обработке 200 импульсами) и на 10,7% (при обработке 300 импульсами). Подобная тенденция наблюдалась еще при исследовании водосвязывающей способности (ВСС) образцов до термической обработки. После термической обработки значение рН образцов, подвергнутых РИО, как и следовало ожидать, оказалось выше, чем в образцах, посоленных классическим способом. При активной кислотности контрольного образца 5,82 ед., рН опытного колебался от 6,01 до 6,15 в зависимости от количества импульсов, сообщенных системе «рассол-мясо» в процессе посола. Полученные данные по содержанию соли в образцах согласуются с результатами исследования величины коэффициента диффузии и

глубины проникновения NaCl в мышечную ткань обработанных и необработанных кусков мяса.

Помимо ВУС для характеристики состояния воды в продукте и установления его гигроскопичности применяют показатель активности воды  $A_w$ , являющийся интегральной характеристикой. От величины активности воды зависят сроки хранения мяса и мясопродуктов, формирование цвета и запаха, а также потери в процессе термообработки и хранения [143], причем, чем ниже  $A_w$ , тем выше показатели качества продукта. Результаты исследования активности воды в образцах после термообработки свидетельствуют о снижении данного показателя при РИО. Так при величине активности воды в контрольном образце 0,9574, в опытном образце, обработанном 100 импульсами,  $A_w$  составила 0,9501. В образцах, обработанных 200 и 300 импульсами, исследуемый показатель оказался ниже 0,95 – 0,9488 и 0,9472 соответственно. Снижение активности воды в опытных образцах, скорее всего, связано с повышением содержания соли в обработанном мясном сырье и готовых продуктах. Бельгийскими учеными (Clinouart A. et al, 1998) установлено, что величина активности воды в мясопродуктах прямо пропорциональна отношению содержания соли (С, %) к содержанию влаги (W,%). Используя приведенные в табл. 3.8. данные, построим подобный график зависимости:

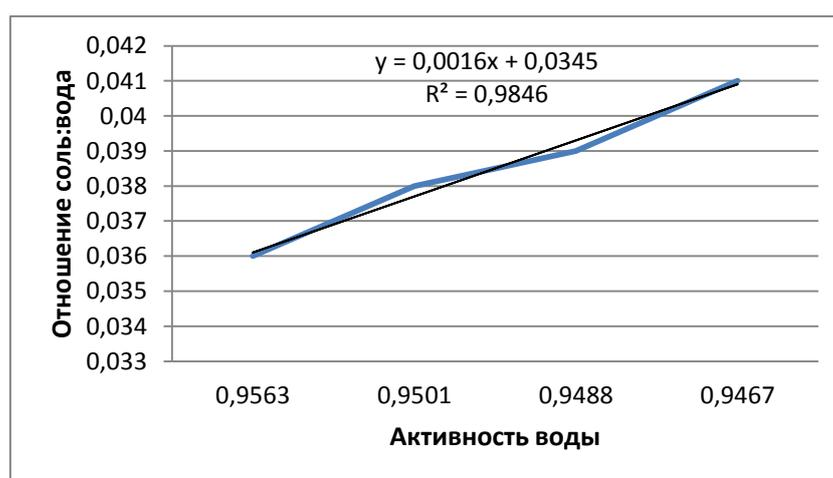


Рисунок 35 – Зависимость активности воды от содержания соли и влаги в исследуемых образцах

Таким образом, основываясь на полученных в настоящей работе эмпирических данных можно сделать вывод, что с достоверностью 0,98 отношение  $\frac{c}{W}$  продукта при разрядно-импульсной обработке мяса будет равняться  $0,0016A_w + 0,0345$ , а активность воды, соответственно, будет находиться в зависимости:

$$A_w = \frac{\frac{c}{W} - 0,345}{0,0016}; \quad (55)$$

Важным показателем качества разрабатываемых продуктов являются их структурно-механические свойства, значения которых отражают характер и глубину изменений, произошедших в процессе разрядно-импульсной обработки, выдержки в рассоле и термической обработки. Прочностные характеристики исследуемых образцов определяли по величине усилия среза, глубины пенетрации и предела прочности на разрыв. Согласно полученным данным, применение разрядно-импульсной обработки привело к снижению величины усилия среза готовых продуктов, причем как вдоль волокон, так и поперек. Так, значение исследуемого показателя вдоль волокон в контрольном образце оказалось на 9,6% больше, чем в опытном образце, подверженном обработке в 100 импульсов. При обработке 200 импульсами величина усилия среза вдоль волокон оказалась меньше, чем контрольного на 14,3%, а при 300 импульсах – на 29,6%. В процессе исследования величины усилия среза контрольных и опытных образцов поперек волокон была выявлена схожая тенденция, за тем исключением, что между опытными образцами, обработанными 100 и 200 импульсами, статистически достоверной разницы обнаружено не было. Максимальное усилие, приложенное лезвием по нормали к волокнам, было детектировано в контрольных образцах и составило в среднем 1,2 Н, что оказалось на 0,35 Н больше, чем в опытных образцах, обработанных 300 импульсами. Глубина пенетрации иглы в исследуемые образцы также изменилась при разрядно-импульсной обработке, что подтверждается соответствующими результатами исследований, представленных в табл. 3.8. В результате обработки проникновение иглы вглубь продукта, по сравнению с контрольным образцом, увеличилось на 0,3; 0,6 и 0,8 мм вдоль

волокон и на 0,3; 0,6 и 0,8 мм поперек волокон в образцах, обработанных 100, 200 и 300 импульсами соответственно. Основной характеристикой прочности при растяжении продукта является его модуль упругости. При исследовании предела прочности на разрыв была получена та же зависимость, что и при исследовании модуля упругости волокон мясного сырья. Максимальное сопротивление растяжению было установлено во время испытаний с контрольными образцами. Минимальное сопротивление и, следовательно, минимальный модуль упругости, соответствовали образцам, обработанным 300 импульсами. Разница между наибольшим и наименьшим значениями предела прочности на растяжение составила 59 кПа. Анализ полученных результатов показал стопроцентную корреляцию между величиной предела прочности на растяжение продукта и значениями модуля упругости волокон мышечной ткани контрольного и опытных образцов мясного сырья (коэффициент Спирмена равен 1).

Таким образом, исследование структурно-механических свойств контрольного и опытных образцов после термической обработки показало, что разрядно-импульсная обработка способствовала снижению жесткости продукта. Скорее всего, это связано с разрыхлением структуры (согласно гистологическим исследованиям сырья) и повышением водоудерживающей способности белков мышечной ткани.

На основании проведенных исследований установлено, что лучшими физико-химическими и структурно-механическими свойствами обладали модельные системы, обработанные с использованием 300 импульсов при энергии напряжении 10 кВ и емкости батарей 100 мкФ, что и принято в качестве оптимальных параметров для разработки технологии варено-копченого изделия из говядины.

## ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВАРЕНО-КОПЧЕНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ГОВЯДИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

Результаты выполненных исследований дали основание полагать, что разрядно-импульсная обработка в режиме 10кВ, 100 мкФ, 300 имп. может способствовать значительной интенсификации процесса посола мяса и улучшению физико-химических и структурно-механических свойств продукции.

С целью исследования влияния разрядно-импульсной технологии на показатели качества готового продукта, в производственных условиях ООО «Вепрь» (г. Ставрополь) была произведена партия варено-копченых изделий из говядины по технологической схеме, представленной на рис. 36.

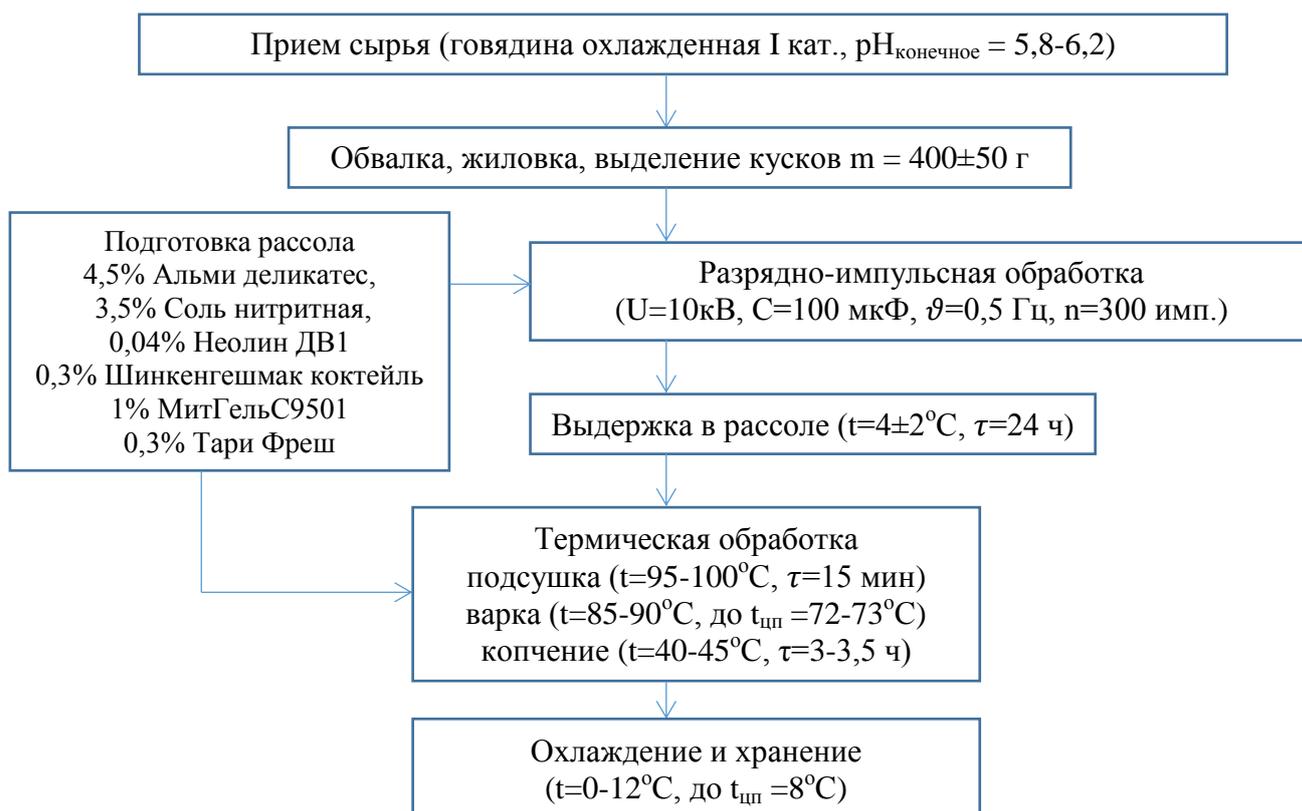


Рисунок 36 – Технологическая схема производства варено-копченого изделия из говядины

В качестве базового контроля для сравнительной оценки была выработана партия варено-копченого изделия «Говядина пряная» по ТУ 9213-802-00419779-10 «Продукты из свинины и говядины».

#### 4.1. Влияние разрядно-импульсной обработки на показатели качества готового продукта

В таблице 4.1 представлены результаты исследований изменения химического состава, физико-химических и структурно-механических характеристик мясного сырья, подвергнутого разрядно-импульсной обработке (опытный образец), и необработанного (контрольный образец), а также после термической обработки и охлаждения продукта до температуры 8°C.

Таблица 4.1. – Влияние РИО на показатели качества мясного сырья и готового продукта

Показатель	Контрольный образец		Опытный образец	
	мясное сырье	готовый продукт	мясное сырье	готовый продукт
<i>химический состав</i>				
Содержание влаги, %	72,1±0,8	62,9±0,9	78,4±1,1	69,8±0,8
Содержание белка, %	19,62±0,2	19,33±0,2	18,35±0,2	18,19±0,2
Содержание жира, %	3,46±0,02	7,41±0,04	2,08±0,04	4,83±0,02
Содержание золы, %	2,35±0,05	5,56±0,1	2,62±0,05	5,44±0,1
Содержание соли, %	1,76±0,2	2,19±0,3	2,41±0,1	2,83±0,2
<i>физико-химические показатели</i>				
pH	5,71±0,02	5,88±0,04	6,06±0,02	6,22±0,04
ВСС, % к общей влаге	67,2± 1,2	–	81,2± 1,6	–
ВУС, % к общей влаге	–	71,9±1,3	–	85,3±1,2
Активность воды	–	0,9563	–	0,9467
Потери при тепловой обработке, %	–	28,5±0,4	–	19,4±0,6
Выход, % к массе несоленого сырья	–	84,7±0,8	–	99,2±0,7
Содержание нитрозопигментов, % к общему количеству пигментов	–	66,5±0,4	–	71,7±0,6
Содержание остаточного нитрита, мг/кг	–	21,2±0,5	–	15,7±0,4
<i>структурно-механические показатели</i>				
Усилие среза, Н				
-вдоль волокон	–	0,95±0,02	–	0,7±0,02
-поперек волокон	–	1,15±0,02	–	0,85±0,02
Глубина пенетрации, мм				
-вдоль волокон	–	3,6±0,1	–	4,7±0,1
-поперек волокон	–	3,1±0,1	–	3,8±0,2
Предел прочности на разрыв, кПа	–	212±7	–	151±4

В ходе проведения исследований было выявлено, что выход контрольного образца после термической обработки составил 84,7% к массе несоленого сырья, тогда как при разрядно-импульсной обработке выход продукта оказался равным 99,2%. Такая разница в выходе продуктов является следствием разного прироста массы сырья при посоле и более низкими потерями массы опытного образца при термической обработке – 19,4% при 28,5% в контрольном образце.

Согласно результатам, представленным в табл. 4.1, содержание влаги в контрольном образце готового продукта составило 62,9% (потери влаги после термической обработки – 9,2%). Содержание влаги в опытном образце готового продукта равнялось 69,8% (потери влаги при термической обработке – 8,6%). Следовательно, несмотря на существенное увеличение содержания влаги в опытном образце мясного сырья, после термической обработки потери влаги в обработанных кусках оказались меньше, чем в необработанных, что, очевидно, связано с характером связи воды с белками мышечной ткани. Содержание белка в контрольном образце в процессе термической обработки снизилось на 0,29%, тогда как в опытном образце – 0,16%. По-видимому, снижение потерь влаги и белка в опытном образце взаимосвязано и обусловлено увеличением водоудерживающей способности (ВУС) белков, что подтверждается результатами исследований ВУС в контрольном и опытном образцах. В процессе исследования выявлено, что водоудерживающая способность в необработанных образцах готового продукта оказалась ниже, чем в обработанных образцах на 13,4%.

Как было отмечено в главе 3, значение рН мышечной ткани в значительной степени определяет уровень ВСС сырья. При термической обработке значение рН, как и следовало ожидать, повысилось во всех образцах. Однако, в контрольном образце произошел сдвиг в сторону щелочной среды на 0,17 ед., тогда как в опытном образце – на 0,16 ед, что несущественно повлияло на конечный результат, так как значение рН в опытном образце оказалось выше, чем в контрольном. При активной кислотности необработанного продукта 5,88 ед., рН обработанного продукта оказался равным 6,22 ед.

Разрядно-импульсная обработка также способствовала снижению показателя активности воды на 0,096 ед.

Высокие показатели ВСС (рН) и ВУС, а также снижение активности воды и уменьшение потерь при термообработке свидетельствуют об улучшении физико-химических показателей качества продукта при использовании РИО.

Мясо и мясопродукты за счет сложности микроструктуры имеют большую оптическую плотность. Как уже отмечалось в главе 3, мышечная ткань имеет анизотропную структуру. Следовательно, отражение света от продукта является в основном диффузным (рассеянным во все стороны). При этом отражательная способность продукта характеризует его цветность. Отражательную способность определяли с помощью спектрометра динамического рассеяния света Photocor Complex. Результаты исследования коэффициента диффузионного отражения света с длиной волны  $\lambda = 400-750$  нм представлены на рис. 37.

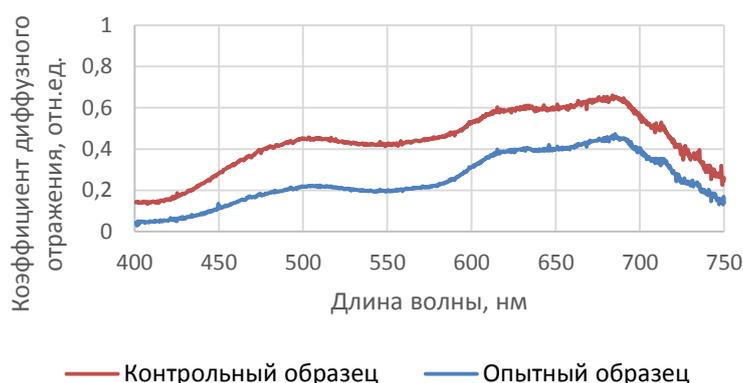


Рисунок 37 – Результаты исследования коэффициента диффузионного отражения света с поверхности исследуемых продуктов

Известно, что чем выше коэффициенты отражения на спектральной кривой, тем более светлую окраску имеет исследуемый образец [28,29]. Анализ спектров отражения света, представленных на рисунке 36, показывает, что наибольшие коэффициенты отражения во всей изученной области спектра имеет контрольный образец. Исходя из этого, можно сделать вывод, что окраска опытного образца была более насыщенной.

Используя значения коэффициента диффузионного отражения можно произвести количественную оценку цвета образцов путем определения координат

цветности  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (характеристика качества цвета) и расчёта цветового модуля  $G$ . Цветовой модуль является суммой первообразных коэффициента отражения. Следовательно, чем больше значение величины  $G$ , тем менее интенсивную окраску имеет продукт. С целью упрощения процесса определения координат цветности была использована программа Spectral Calculator, разработанная британским программистом В. Lindbloom. Таблицы, содержащие информацию об основных характеристиках цвета контрольного и опытных образцов представлены в Приложении Ж. Результаты расчета цветового модуля сведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Цветовые характеристики готового продукта

Цветовая характеристика	Контрольный образец	Опытный образец
<b>CIE XYZ</b>		
Цветовой модуль, <b>G</b>	118,11	60,5
Координата цветности, <b>x</b>	0,4878	0,5026
Координата цветности, <b>y</b>	0,4134	0,3876
Координата цветности, <b>z</b>	0,0988	0,1098
<b>CIE LAB</b>		
Светлота, <b>L</b>	74,18	55,53
Краснота (зеленость), <b>a</b>	19,09	22,97
Синева (желтизна), <b>b</b>	7,71	16,90
Насыщенность, <b>C</b>	20,59	28,52
Цветовой тон, <b>H</b>	68,00	53,65

Анализ цветовых характеристик исследуемых продуктов по эталонной цветовой модели CIE XYZ также показал, что наиболее светлую окраску имеет контрольный образец. Значение цветового модуля контрольного образца готового продукта соответствует значению  $G=118,11$ , что на 57,61 ед. больше, чем опытного образца. Судя по координатам цветности, в обоих образцах преобладает доля красного цвета, что свойственно варено-копченым изделиям из говядины. Однако в опытном образце координата цветности, характеризующая качество красного цвета, находится выше, чем в контрольном образце, что свидетельствует о формировании более насыщенного цвета при разрядно-импульсной обработке. Это подтвердилось при анализе цветовых характеристик образцов готового продукта по модели равноконтрастного цветового пространства CIE LAB.

Основным показателем цвета в данной системе являются светлота  $L$ , характеризующая интенсивность окраски и являющаяся количественной оценкой цвета и показатели качества цвета – степень красноты (зелености) «a» и синевы (желтизны) «b» [111]. Согласно полученным данным, интенсивность окраски, принятая обратной величиной от  $L$ , в опытном образце оказалась выше, чем в контрольном на 25,2%. Увеличение показателей степени красноты и синевы в обработанном образце отражается на увеличении насыщенности цвета, что согласуется с расчетными данными. Разница с контрольным образцом составила 7,93 порогов цветовой чувствительности. Учитывая, что порог цветовой чувствительности – это минимально различимая человеческим глазом разница в цветности, можно сделать вывод, что при органолептической оценке окраски готового продукта эксперты без труда смогут визуальным образом определить разницу в насыщенности цвета между контрольным и опытным образцами.

Полученная динамика изменения спектральных кривых и характеристик цвета свидетельствует о более интенсивном образовании нитрозопигментов в образцах, посоленных с использованием разрядно-импульсной обработки, что, скорее всего, связано с лучшим проникновением рассола вглубь разрыхленной мышечной ткани и большей доступности миоглобина к взаимодействию с  $\text{NaNO}_2$  вследствие деструкции волокон. Интенсификация цветообразования в мясопродуктах при разрядно-импульсной обработке подтверждается результатами исследования содержания нитрозопигментов в контрольных и опытных образцах к общему количеству пигментов. Согласно представленным в табл. 4.1. данным, процентное содержание нитрозопигментов в опытном образце выше, чем в контрольном на 5,2%.

В процессе разрядно-импульсной обработки, вследствие образования ударных волн и пульсации парагазовой полости в рассоле, интенсифицируются процессы диссоциации солей (в том числе нитритной соли) на ионы. Ионизация рассола, по-видимому, ускоряет образование оксида азота и его взаимодействие с миоглобином мышечной ткани. Интенсивная диссоциация нитрита, в свою очередь, способствует его более полному вовлечению в реакции

цветообразования и, следовательно, сокращению его остаточного содержания в готовых мясопродуктах, что улучшит их показатели безопасности.

В настоящее время в РФ по действующей нормативной документации допустимая доза нитрита натрия в готовом продукте не должна превышать 50 мг/кг. Согласно результатам исследований, остаточное содержание нитрита в готовых продуктах существенно ниже норматива. Тем не менее, количество остаточного нитрита в опытных образцах ниже, чем в контрольном на 3,1-5,5 мг/кг, причем наименьшее его содержание установлено в образце, обработанном 300 импульсами, что согласуется с данными по содержанию нитрозопигментов.

Полученные результаты исследований интенсивности цветообразования варено-копченых продуктов согласуются с исследованиями Куликова Ю.И., Салатковой Н.П., Борисенко Л.А., Борисенко А.А., Брацихина А.А., Виноградовой Н.А., связанными с изучением различных механизмов интенсификации и стабилизации окраски различных мясопродуктов, в том числе путем активации рассолов [23,27,28,129].

Наряду с физико-химическими свойствами, были исследованы структурно-механические свойства продуктов. Как видно из таблицы 4.1, усилие среза опытного образца, как вдоль (0,7Н), так и поперек волокон (0,85Н), оказалось меньше, чем в контрольном (0,95 и 1,15 Н соответственно). При исследовании глубины пенетрации было обнаружено, что игла проникает в опытный образец глубже, чем в контрольный на 1,1 мм вдоль волокон и 0,7 мм – поперек. Предел прочности на разрыв контрольного образца оказался на 40% (61 кПа) больше, чем опытного. В совокупности результаты исследования структурно-механических характеристик готовой продукции свидетельствуют о более жесткой структуре контрольного образца, т.е. при разрядно-импульсной обработке продукт приобретает более нежную консистенцию.

В соответствии с проведенными исследованиями, качество готового продукта характеризуется совокупностью большого количества свойств различной значимости. В ходе проведения сравнительного анализа показателей качества контрольного и опытного образцов готового продукта были получены

данные, на основании которых появилась возможность сделать достаточно объективные выводы о предпочтительности того или иного продукта. Тем не менее, решающее влияние на потребительские свойства и покупательский спрос оказывают органолептические свойства продукта.

Органолептическая оценка варено-копченых продуктов проводилась преподавателями кафедры технологии мяса и консервирования СКФУ по пятибалльной системе (Приложение Р). Результаты оценки внешнего вида, цвета, запаха, консистенции и вкуса представлены в виде лепестковой диаграммы (рис. 38).

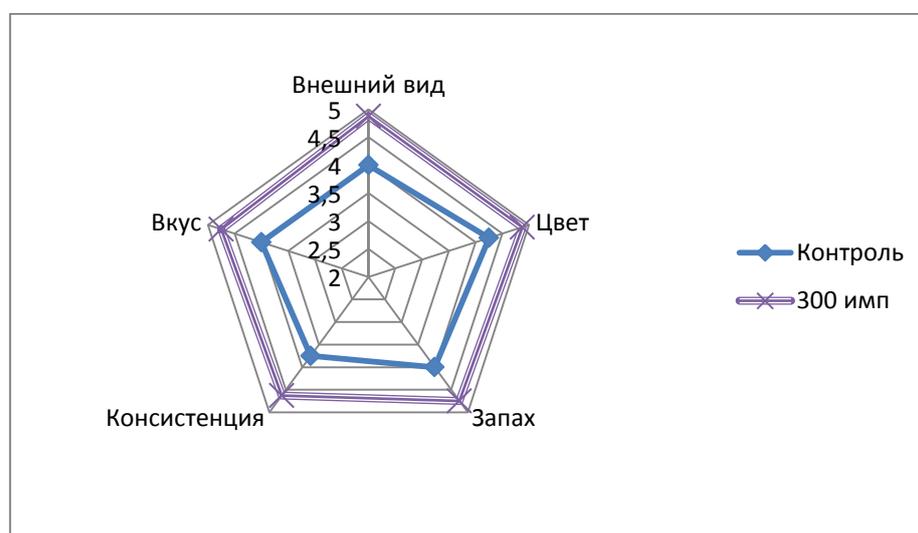


Рисунок 38 – Органолептическая оценка исследуемых образцов

Согласно выставленным баллами, опытный образец оказался предпочтительнее контрольного по всем показателям. При этом восприятие цвета образцов соответствует результатам спектрального анализа и расчета цветовых характеристик (средний бал за цвет контрольного образца – 4,25, опытного образца – 4,88).

Таким образом, органолептическая оценка контрольного и опытного образцов готового продукта показала, что РИО приводит к улучшению консистенции, образованию более выраженной окраске и положительно отражается на результирующем восприятии внешнего вида, что положительно сказывается на потребительских свойствах продукта.

## **4.2. Изучение влияния разрядно-импульсной обработки на безопасность продукции**

При разработке новых способов обработки мяса особое внимание следует уделить влиянию предлагаемой технологии на показатели безопасности сырья и готовой продукции. Безопасность мясопродуктов обусловлена устранением ряда рисков биологического, химического и физического происхождения [65].

С целью определения безопасности разрядно-импульсной технологии были проведены исследования процессов, характеризующихся наибольшими рисками отрицательного влияния на безопасность мясопродуктов (эрозия электродной системы (ЭС)), а также изучено влияние РИО на микробиологические показатели готового продукта.

### **4.2.1. Исследование эрозии металлов электродной системы ГИТ-6**

В процессе РИО каждый разряд сопровождается эрозионным износом электродной системы (ЭС), в результате которой металлы, составляющие положительный и отрицательный электрод, мигрируют в обрабатываемую среду. Интенсивность эрозии зависит от напряжения тока, энергии разряда, количества импульсов, материала электродов и их конструкции. Электроды генератора импульсов тока ГИТ-6 представляют собой коаксиальную систему. Центральный (положительный) электрод выполнен в виде медного стержня. Наружный (отрицательный) электрод – толстостенная латунная труба марки ЛАЖМц66-6-3-2 (алюминиевожелезомарганцовистая латунь, содержащая 66% Cu, 6% Al, 3% Fe, 2% Mn и, соответственно, 23% Zn). Таким образом, электродная система ГИТ-6 в основном состоит из меди и легирующих отрицательный электрод цинка, алюминия, железа и марганца. При исследовании эрозии металлов в рассол количество марганца не учитывалось ввиду его незначительного содержания. Миграция железа, несмотря на его низкое содержание в латуни, была учтена, так

как используемая для приготовления рассола вода также содержала железо. Результаты исследований представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Исследование миграции металлов электродной системы в рассол при РИО

Определяемые показатели	Контрольный образец	Опытный образец
Содержание железа, мг/л	0,49±0,02	0,54±0,04
Содержание меди, мг/л	<0,01	0,43±0,02
Содержание цинка, мг/л	<0,01	0,69±0,04
Содержание алюминия, мг/л	0,04±0,02	0,09±0,02
Токсичность	не токсичен	не токсичен

Результаты исследований, представленные в табл. 4.4, подтверждают эрозию ЭС в рассол в процессе РИО. В большей степени эрозии подвергся цинк, что, скорее всего связано, с более низкими теплофизическими свойствами по сравнению с остальными металлами ЭС. Содержание меди, цинка и алюминия в обработанном рассоле также оказалось выше, чем в необработанном. Высокое содержание меди (0,43 мг/л) можно объяснить наибольшей долей содержания в электродной системе.

Так как рассолы готовились на основе водопроводной воды, сравнительный анализ безопасности рассолов производили по гигиеническим требованиям к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. В соответствии с действующим СанПиН 2.1.4.2652-2010 ПДК железа и меди в водопроводной воде составляет 1 мг/л, цинка – 5 мг/л, а алюминия – 0,5 мг/л. Судя по показателям содержания микроэлементов в необработанном рассоле, вода для приготовления рассола соответствовала требуемым нормам. В обработанном рассоле содержание металлов так же находилось в пределах допустимых концентраций. Оба образца рассолов были нетоксичны.

Полученные данные соответствуют расчетным значениям эрозии Fe, Cu, Zn и Al, представленным в Приложении И, что свидетельствует о высокой достоверности результатов исследований.

Для установления интенсивности адсорбции и аккумуляирования мышечной тканью металлов ЭС и их содержания в продукте после термической обработки

были проведены исследования содержания Fe, Cu, Zn и Al в готовом продукте, результаты которых отображены в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Исследование содержания металлов электродной системы в готовом продукте

№ п/п	Определяемые показатели	ПДК	Результаты исследований	
			Контрольный образец	Опытный образец
1	Содержание железа, мг/кг	50	3,93±0,3	3,95±0,4
2	Содержание меди, мг/кг	5	0,24±0,03	0,79±0,03
3	Содержание цинка, мг/кг	40	0,21±0,03	0,59±0,03
4	Содержание алюминия, мг/кг	10	0,02±0,01	0,07±0,01
5	Токсичность	не допуск.	не токсичен	не токсичен

В соответствии с требованиями, предъявляемыми Объединенной Комиссией МО/ВОЗ по пищевому кодексу, наиболее важными в гигиеническом контроле пищевых продуктов являются восемь микроэлементов – Hg, Cd, Pb, As, Zn, Cu, Sn и Fe. В России подлежат контролю еще 7 элементов: Sb, Ni, Se, Cr, Al, F и J [2]. Таким образом, все определяемые в продукте металлы входят в число наиболее контролируемых.

В справочнике МакКанса и Уиддоусона [145] указано, что говядина содержит около 2,9 мг железа, 3,24 мг цинка и 0,18 мг меди. Содержание Al в мясе говядины ничтожно мало. При термической обработке микроэлементы в мясе сохраняются практически в полном объеме. С учетом потерь влаги и белка в контрольном образце готового продукта, согласно представленным в табл. 4.4 данным, содержание железа составило 3,93 мг/кг, что в 1,35 раза больше справочной величины. В опытном образце содержание железа оказалось приблизительно равным контрольному, что объясняется относительно небольшой разницей в содержании железа в рассолах. Скорее всего, заметная разница в содержании Fe в исследуемых продуктах связана с большей разницей концентраций, интенсификацией проникновения рассола вглубь мышечной ткани под давлением и лучшей гидратацией волокон, сопровождающейся адсорбцией ионов металла. Стоит отметить, что, несмотря на повышенное содержание металлов ЭС в опытном образце готового продукта, содержание Fe, Cu, Zn и Al

находится в пределах допустимых норм, что свидетельствует об отсутствии угрозы снижения безопасности. Это же доказывается результатом исследования токсичности продуктов.

Предположительно в результате эрозии металлов ЭС в рассол переходят как свободные наночастицы металла, так и ионы. Ионные формы могут легко комбинировать с активными формами кислорода (АФК) и образовывать оксиды гидроксиды. Наночастицы железа, меди, цинка и алюминия, их ионы и соединения могут оказывать влияние на жизнедеятельность микроорганизмов, подавляя их жизнеспособность. Таким образом, эрозия ЭС может иметь и положительный эффект с точки зрения снижения микробиологической обсеменённости продукта, но также может повлиять на скорость окисления липидов.

#### **4.2.2. Влияние разрядно-импульсной обработки на микробиологические показатели готовой продукции**

В связи с доказанным бактерицидным эффектом РИО научный интерес представляет длительность противомикробной устойчивости (бактериостатический эффект) готового продукта, так как развитие микроорганизмов в процессе хранения продукта является одним из лимитирующих факторов сроков годности.

В настоящее время одним из наиболее информативных показателей для определения сроков хранения и характеристики устойчивости продуктов к микробиологической порче является активность воды, так как  $A_w$  характеризует не только энергию связи влаги с продуктом, но и определяет активность микроорганизмов (Фатьянов Е.В., 2015).

На рис. 39 изображены графики изменения активности воды в контрольном и опытном образцах готового продукта при хранении в течение 3 недель в холодильной камере при температуре 1-1,2°C.

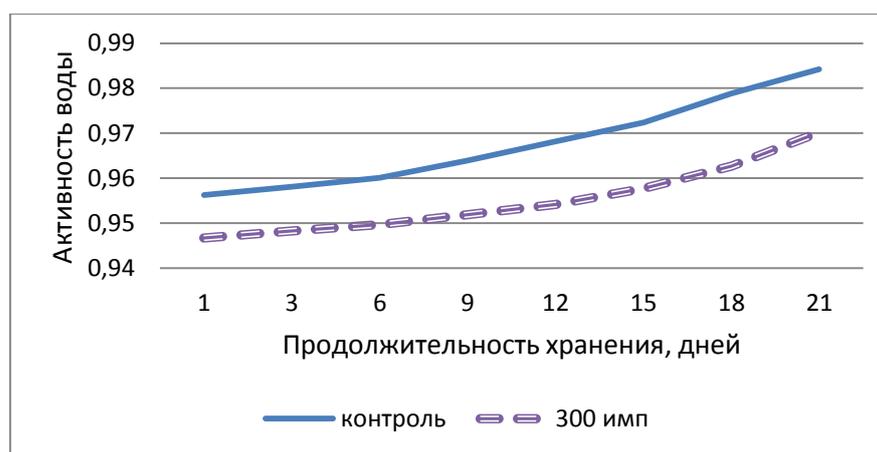


Рисунок 39 – Динамика изменения активности воды в контрольном и опытном образцах готового продукта

Как видно из представленных графиков, величина активности воды в контрольном образце была наибольшей в течение всего времени исследования. Характер изменения графиков по времени свидетельствует о возрастании скорости изменения  $A_w$  по отношению к продолжительности хранения. Так как значения активности воды во всех образцах менялись с непрерывно возрастающей скоростью, были получены уравнения экспоненциальной регрессии, представленные в табл. 4.5 (графики с регрессионной линией тренда и экспоненциальной аппроксимацией приведены в Приложении М).

Таблица 4.5 – Уравнения экспоненциальной регрессии динамики изменения активности воды при хранении в контрольном и опытных образцах

Образец	Уравнение экспоненциальной регрессии	Достоверность экспоненциальной аппроксимации $R^2$
Контрольный	$A_w = 0,9497e^{0,0042x}$	0,9676
Опытный	$A_w = 0,9412e^{0,0033x}$	0,9565

где  $x$  – период хранения (0 дней – 0 период, 1 день – 1 период, 7 дней – 2 период, 14 дней – 3 период, 21 день – 4 период)

Коэффициент перед экспонентой в полученных уравнениях показывает предположительное значение активности воды в образцах после термической обработки (нулевой период). Так как степенной коэффициент экспоненты во всех уравнениях больше 0, можно сделать вывод, что величина активности воды возрастает не просто с возрастающей скоростью, но и с возрастающим

ускорением. Тем не менее, в опытном образце производная скорости изменения исследуемого показателя меньше, чем в контрольном и уменьшается в прямой зависимости от количества импульсов при РИО. Известно, что увеличение показателя активности воды является благоприятным условием для роста микроорганизмов [19]. Следует отметить, что на 14 день хранения в контрольном образце можно было почувствовать кисловато-затхлый запах, а на 15 день на поверхности продукта обнаружили несколько колоний серо-зеленого цвета, т.е. спустя две недели необработанный образец подвергся микробиологической порче. При наблюдении за опытным образцом прошло 20 дней до появления слабого запаха затхлости, а на 21 день поверхность продукта была покрыта колониями серо-зеленых и коричнево-зеленых колоний. Предположительно обнаруженные плесени относились к роду *Aspergillus* (*A. flavus* или *A. fumigatus*). Несмотря на то, что минимальное значение  $A_w$  для роста плесени *Aspergillus* равняется 0,8, установленные в ходе наблюдения изменения, связанные с микробиологической порчей, судя по графикам на рис. 39, в обоих образцах происходили при достижении  $A_w$  значения 0,97. Возможно, активность воды 0,97 является оптимальной для быстрого роста и развития плесени. Более объективные результаты по микробиологической порче были получены путем посева и термостатирования проб исследуемых образцов. Сравнительный анализ проводился для контрольного и опытного образца, обработанного 300 импульсами. Результаты исследования представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты исследования микробиологических показателей контрольного и опытного образцов готового продукта при хранении

Образец	Контрольный образец				Опытный образец			
	1 д	7 д	14д	21д	1 д	7 д	14д	21д
КМАФАнМ, КОЕ/г	$2,4 \cdot 10^2$	$6,4 \cdot 10^2$	$1,41 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^3$	$0,35 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^2$	$5,9 \cdot 10^2$	$2,07 \cdot 10^3$
БГКП, в 1 г	–	–	+	+	–	–	–	+
<i>Aspergillus</i> , КОЕ/г	–	–	+	+	–	–	–	+

\* «+» – обнаружено, «–» – не обнаружено

Согласно полученным данным, на 14 сутки хранения контрольный образец подвергся микробиологической порче: при посеве пробы были

идентифицированы БГКП и колонии плесени, а КМАФАнМ превысило регламентируемые  $10^3$  [139]. Подобные изменения в опытном образце были выявлены лишь на 21 день хранения. Так как шаг исследований составлял 7 дней, определить точные сроки хранения образцов возможно только расчетным путем. При построении графиков изменения КМАФАнМ в образцах в процессе хранения было обнаружено, что динамика изменения показателя близка к экспоненциальной зависимости. В связи с этим с высокой степенью достоверности аппроксимации были построены уравнения экспоненциальной регрессии (Приложение Н), сведенные в табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Уравнения экспоненциальной регрессии динамики изменения КМАФАнМ в контрольном и опытном образцах во времени

Образец	Уравнение экспоненциальной регрессии	Достоверность экспоненциальной аппроксимации $R^2$
Контрольный	$\text{КМАФАнМ} = 112,75e^{0,8265x}$	0,9949
Опытный	$\text{КМАФАнМ} = 9,7307e^{1,3545x}$	0,9979

где  $x$  – период хранения (0 дней – 0 период, 1 день – 1 период, 7 дней – 2 период, 14 дней – 3 период, 21 день – 4 период)

Как видно из полученных уравнений, предположительная степень обсемененности КМАФАнМ в день производства (нулевой период) составила 112-113 КОЕ/г контрольного образца и 9-10 КОЕ/г опытного образца. По-видимому, такая разница связана с бактерицидным эффектом РИО. Расчет уравнений с подстановкой долей периодов показал, что на 12 день хранения КМАФАнМ в контрольном образце с определенной долей вероятности составляло 943 КОЕ/г, а на 13 сутки – 1062 КОЕ/г. Основываясь на результатах расчета, КМАФАнМ опытного образца на 17 сутки должно достичь 999 КОЕ/г, а на 18 – 1225 КОЕ/г. Таким образом, с учетом эмпирических и расчетных данных, микробиологическая порча контрольного образца наступила на 12-13 сутки хранения, а опытного образца – на 17-18. Вследствие возможного бактериостатического эффекта на протяжении первых дней хранения продукта, микробиологическая порча готового продукта, обработанного 300 импульсными

разрядами в процессе посола, наступила на 5 дней позже, чем у необработанного образца.

Как было отмечено выше, механизм бактерицидного действия РИО образован комплексом физико-химических явлений. Высокие гидродинамические давления, ультразвуковые колебания, ультрафиолетовое свечение и образующийся в процессе пробоя разряда озон являются бактерицидными факторами. Бактериостатический эффект, скорее всего, обеспечивается за счет миграции металлов электродной системы, что, несомненно, является положительной стороной явления эрозии.

В главе 1 отмечалось, что электрогидравлические удары способны вызывать в воде появление свободных радикалов, активных форм кислорода и водорода [153]. Активные формы кислорода обычно так же являются сильными окислителями или крайне реакционноспособными свободными радикалами [54]. При обработке мяса возникновение в рассоле активных свободных радикалов способно в значительной степени повлиять на окислительно-антиоксидантную систему мышечной ткани, ускорив процесс окисления жиров и, следовательно, сократив срок годности обработанного продукта. Снижение антиоксидантной активности может привести к увеличению скорости окисления жиров в обработанных образцах при хранении. Решение потенциальной проблемы может быть связано с использованием в составе рассолов ингибиторов и природных антиоксидантов. Соответствующие исследования будут запланированы в рамках последующих НИР.

С целью оценки безопасности, в соответствии с регламентом на содержание нитрозаминов, в исследуемых образцах были проведены исследования, результаты которых представлены в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Содержание нитрозаминов в образцах готового продукта

Определяемые показатели	Контрольный образец	Опытный образец	Норматив	Регламентирующий документ
НДМА, мг/кг	<0.001	<0.001	≤0,004	ТР ТС 021/2011
НДЭА, мг/кг	<0.001	<0.001		ТР ТС 021/2011

Анализ содержания N-нитрозодиметиламинов и N-нитрозодиэтиламинов показал, что в опытных образцах готового продукта, как и в контрольном, содержание канцерогенной группы летучих нитрозосоединений находится ниже регламентируемого количества. Образование нитрозаминов обусловлено химическими и микробиологическими факторами. Риск трансформации нитрита в нитроамины вследствие влияния микроорганизмом минимален согласно результатам исследования микробиологических показателей опытных образцов. Химические факторы образования нитрозаминов в основном обусловлены образованием аминов в процессе распада белка под влиянием технологических факторов (посол, термическая обработка) и наличия NO в дыме. Основываясь на представленные в таблице 4.8 результаты, можно предположить, что низкое содержание нитрозаминов в опытных образцах связано со снижением содержания остаточного нитрита, что подтверждается данными из табл. 4.1.

Таким образом, опытные образцы более предпочтительны с позиции микробиологической безопасности в связи с бактерицидным и неявно выраженным бактериостатическим эффектами. Эрозия металлов ЭС в процессе РИО негативного влияния на безопасность готового продукта не оказывает, так как все показатели находятся в пределах ПДК. Возможный риск, предполагающий снижение безопасности мяса при разрядно-импульсной обработке, связан с истощением антиоксидантной активности мышечной ткани вследствие образования свободных радикалов в процессе обработки. В связи с этим принят гарантийный срок годности продукта (без упаковки, в охлажденном состоянии) – 10 суток.

Результаты исследований легли в основу разработки технической документации – ТУ 9213-001-21990461-2015 «Продукт мясной из мяса говядины варено-копченый « Уникум» (Приложение Т).

Расчет экономической эффективности разрабатываемой технологии (Приложение С) показал, что уровень рентабельности продукта «Уникум» составляет 27,3%, что на 12,4% больше, чем у базисного продукта.

## ВЫВОДЫ

1) Проведен анализ научной, патентной и технической информации по теме исследований. Систематизирована математическая модель преобразования энергии во время электрогидравлического эффекта, основанная на современных представлениях ведущих ученых в данной области о процессах, протекающих во время пробоя электрического разряда в жидкости.

2) Для проведения компьютерного моделирования разрядно-импульсной обработки мяса была создана программа «Уникальный импульс», выполненная на базе Borland C++. Выявлено, что максимальное давление в центре канала разряда при проведении эксперимента может достигать 18 МПа. С увеличением расстояния объекта от оси канала до 15 см (максимальное расстояние при диаметре рабочей емкости 30 см) значение пикового давления составит 15 МПа.

3) Результаты исследования электрических и энергетических параметров разряда подтвердили полученные при компьютерном моделировании данные. С помощью пьезоэлектрических датчиков зафиксировано пиковое давление в растворе на расстоянии 15 см от оси канала разряда – 15-15,2 МПа. Данные, снятые с осциллографа, показали, что пробой разряда длится около 100 мкс, причем амплитуда тока достигает 13 кА.

4) Использован оригинальный метод определения коэффициента диффузии за счет создания разности концентраций в двух сообщающихся камерах. Изучено влияния разрядно-импульсной обработки на скорость диффузии и глубину проникновения соли в мясное сырье. Установлено, что при 24-часовом процессе среднее значение коэффициента диффузии в опытных образцах оказалось выше, чем в контрольном: на 0,03 мм<sup>2</sup>/с при обработке 100 импульсами, 0,07 мм<sup>2</sup>/с при воздействии 200 импульсами и 0,13 мм<sup>2</sup>/с – при 300 импульсах. Концентрация соли на разном расстоянии от поверхности обработанных образцов также оказалась выше, чем в контрольных образцах;

5) Изучено влияние разрядно-импульсной обработки на микроструктуру мясного сырья. Гистологические исследования показали, что РИО оказывает

деструктивное воздействие на волокна, способствует заполнению пространства между ними рассолом и ускорению проникновения соли вглубь мышечной ткани, что проявляется в разволокнении с нарушением фрагментации миофибрилл, частичных разрывах структуры волокон, изменении формы волокон на гофрированную и извитую. Установлено, что толщина мышечных волокон опытных образцов, по сравнению с контрольным, увеличился в среднем на 32-51%. В работе также использован метод атомно-силовой микроскопии поверхности волокон мышечной ткани. АСМ показала, что опытный образец, обработанный 300 импульсами, характеризовался наибольшей шероховатостью и повышенной исчерченностью, что свидетельствует о наибольшей степени разрыхления мышечной ткани на микроуровне.

6) С помощью зондового микроскопа обнаружено, что жесткость волокон опытных образцов оказалась ниже, чем в контрольных на 12,2-13,4% и на 10,9-12,1%, чем в нативных. При обработке 300 импульсами предельное напряжение среза мяса равнялось 186 кПа, что на 11,8% меньше, чем в контрольном. Опытные образцы также оказались более пластичными – максимальная разница с контрольным образцом составила 39%. ВСС опытных образцов оказалась выше, чем у контрольных на 9%-18% в зависимости от количества импульсов при обработке. Образцы мяса, подверженные воздействию 300 импульсных разрядов, содержали наибольшее количество воды –78,1%, что на 6,8% больше, чем в контрольном.

7) Исследование показателей качества контрольного и опытных модельных образцов после термической обработки показало, что РИО способствует формированию лучших физико-химических и структурно-механических свойств продукта. На основании полученных результатов принято, что обработка 300 импульсами (при энергии разряда 5 кДж) является наиболее оптимальной для достижения лучших показателей качества продукта.

8) Разработана интенсивная технология варено-копченых изделий из говядины с использованием разрядно-импульсной обработки. Изучено влияние РИО на показатели качества готового продукта. Согласно результатам

исследований, выход готового продукта при разрядно-импульсной обработке оказался на 14,5% больше, чем в необработанном образце, а содержание влаги в опытном образце – на 6,9%. Результаты исследования структурно-механических свойств готового продукта коррелируют с результатами исследования структурно-механических свойств модельных систем. Выявлено, что водоудерживающая способность в контрольном образце готового продукта оказалась ниже, чем в опытном на 13,4%. Разрядно-импульсная обработка также способствовала снижению показателя активности воды на 0,096 ед. Анализ спектров отражения света и обработка коэффициентов отражения показали, что опытный образец имел более насыщенную окраску, что подтвердилось при органолептической оценке продуктов.

9) Дана оценка безопасности продукта. Изучена степень эрозии электродной системы. Установлено, что, несмотря на изменение содержания металлов в опытном образце готового продукта, содержание Fe, Cu, Zn и Al находится в пределах допустимых норм. Выявлено, что КМАФАНМ в обработанном продукте в день производства было в 7 раз меньше, чем в необработанном, что свидетельствует о бактерицидном эффекте РИО. Согласно результатам проведенных исследований, разрабатываемый продукт соответствует требованиям к безопасности, регламентированным ТР ТС 021/2011. Гарантийный срок хранения продукта без упаковки в охлажденном состоянии – 10 суток.

10) На основании полученных результатов разработана техническая документация – ТУ 9213-001-21990461-2015 «Продукт мясной из мяса говядины варено-копченый «Уникум»».

11) Проведена опытно-промышленная апробация в производственных условиях ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус» (г. Екатеринбург), ООО «Вепрь» (г. Ставрополь), ИП Поляков (г. Ставрополь).

12) Оценка экономической эффективности разрабатываемой технологии показала, что прибыль от реализации 1 тонны разработанного продукта составит 130181,6 рублей, что на 34782,7 рублей больше, чем от реализации 1 тонны

базисного продукта. Уровень рентабельности «Уникум» составляет 21,7% при 14,9% при реализации продукта «Говядина Деликатесная».

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АМ** – аналитический модуль  
**АСМ** – атомно-силовая микроскопия  
**АФК** – активные формы кислорода  
**БГКП** – бактерии группы кишечной палочки  
**ВГД** – высокое гидростатическое давление  
**ВСС** – водосвязывающая способность  
**ВУС** – влагоудерживающая способность  
**ДРС** – динамическое рассеяние света  
**ДЭС** – двойной электрический слой  
**ГИТ** – генератор импульсов тока  
**КВИМ** – кабель высоковольтный импульсный  
**КМАФАнМ** – Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов  
**КОЕ** – колониеобразующие единицы  
**КЧ** – кислотное число  
**ЛАЖМц** – алюминиевожелезомарганцовистая латунь  
**МПА** – мясопептонный агар  
**НДМА** – N-нитрозодиметиламин  
**НДЭА** – N-нитрозодиэтиламин  
**НД** – нормативный документ  
**НПФ** – Научно-производственная фирма  
**ООО** – Общество с ограниченной ответственностью  
**ПДК** – предельно допустимая концентрация  
**ПП** – парогазовая полость  
**ПНД** – природоохранный нормативный документ  
**ПНС** – предельное напряжение среза  
**ПНИЛ** – проблемная научно-исследовательская лаборатория  
**ППС** – профессорско-преподавательский состав  
**РГМ** – расчетно-графический модуль  
**РИО** – разрядно-импульсная обработка  
**РИТ** – разрядно-импульсная технология  
**СКФУ** – Северо-Кавказский федеральный университет  
**СМ** – справочный модуль  
**СМС** – структурно-механические свойства  
**ТД** – техническая документация  
**ТР ТС** – технический регламент таможенного союза  
**ФБУЗ** – федеральное бюджетное учреждение здравоохранения  
**ФТС** – функционально-технологические свойства  
**ЦКП** – центр коллективного пользования  
**ЭГЭ** – электрогидравлический эффект  
**ЭС** – электродная система  
**СIE** – Comision Internationale de L'Eclairage (International Commission on Illumination – Международная комиссия по освещению)  
**MRI** – Max Rubner-Institut (Институт Макса Рубнера)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аблесимов, В.Е. Измерения характеристик электрического разряда в растворе NaCl / В.Е. Аблесимов [и др.] // Журнал технической физики. – 2015. – №3. – Том 85. – С. 42-44.
2. Алексеева, Е.И. Результаты оценки качества мяса бычков абердин-ангусской породы / Е. И. Алексеева, Н. А. Лушникова, Т. Л. Лещук // Вестник Курганской ГСХА. – 2014. – № 3. – С. 53-56.
3. Антипова, Л.В. Биохимия мяса и мясных продуктов: учебное пособие / Л.В. Антипова, Н.А. Жеребцов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. – 184 с.
4. Антипова, Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов: учебное пособие / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. – М.: Колос, 2001. – 376с.
5. Антуфьев, В.Т. Перспективные технологии и устройства для приготовления мясных полуфабрикатов / В.Т. Антуфьев, А.С. Громцев, В.В. Стариков // Теория и практика разработки ресурсосберегающего пищевого оборудования: материалы межвуз. сб. науч. тр. – СПб, СПбГУНиПТ, 2007. – С. 15-19.
6. Арет, В.А. Реология и физико-механические свойства материалов пищевой промышленности: учебное пособие / В.А. Арет, С.Д. Руднев. – СПб.: ИЦ Интермедия, 2014. – 252 с.
7. Аристова, Н.А. Вспышечный коронный электрический разряд как источник химически активных частиц. В кн.: Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Серия Б. Т. XI-5. / Н.А. Аристова, под ред. Лебедева Ю.А., Платэ Н.А., Фортова В.Е. – М: Издательство ЯНУС-К, 2006. – С. 310-341.
8. Бабенышев, С.П. Некоторые аспекты моделирования процесса мембранной фильтрации жидких полидисперсных систем / С.П. Бабенышев,

А.В. Бобрышов, П.С. Чернов, Д.С. Мамай // Научное обозрение. Саратов: ИД «Наука образования». – 2012. – №1. – С. 90-94.

9. Бабенышев, С.П. Перераспределение частиц дисперсной фазы жидких полидисперсных систем при ультрафильтрационном разделении / И.А. Евдокимов, С.П. Бабенышев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 7. – С. 77-79.

10. Бабенышев, С.П. Моделирование процесса мембранной фильтрации жидких систем / С.П. Бабенышев, П.С. Чернов, Д.С. Мамай // Политематический сетевой электронный журнал КубГАУ. – 2012. – № 76. – С. 484-494.

11. Бадмаева, Т.М. Влияние низковольтной многоэлектродной электростимуляции на свойства конины и качество натуральных консервов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.04 / Бадмаева Татьяна Михайловна. – Улан-Удэ, 2008. – 20 с.

12. Баженова, Б.А. Научное обоснование и разработка инновационных технологий продуктов из мяса яков и лошадей Бурятского экотипа: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04 / Баженова Баяна Анатольевна. – Улан-Удэ, 2014. – 44 с.

13. Баранов, М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности / М.И. Баранов // Электротехника и электромеханика. – 2009. – №1. – С.42-54.

14. Барбашова, Г.А. Взаимодействие двумерных ударных волн с элементами конструкций при подводном искровом разряде: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.02.05 / Барбашова Галина Алексеевна. – Киев, 1989. – 26 с.

15. Бекман, И.И. Феноменологическая теория диффузии в гетерогенных средах и ее применение для описания процессов мембранного разделения / И.И. Бекман, И.П. Романовский // Успехи химии, т. LVII (57). – 1988. – №6. – С. 944-957.

16. Блащенко, А.Д. Выбор параметров электродной системы, обеспечивающих минимально возможные предпробивные потери энергии / А.Д. Блащенко, Н.П. Головина // Техніка і електрофізика високих напруг. – 2012. – №21. – с. 23-31.
17. Блекберн, К. де В. Микробиологическая порча пищевых продуктов / К. де В. Блекберн (ред). – СПб.: Профессия, 2008. – 784 с.
18. Бобренева, И.В. Разработка технологии посола свиного мяса в условиях электромассирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.18.04 / Бобренева Ирина Владимировна. – М.: ВНИИКИМП, 1990. – 20 с.
19. Божко, Д.Л. Измерение активности воды как один из критериев оценки срока годности мясных продуктов / Д.Л. Божко, С.В. Радьков // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2008. – № 1. – С. 79-82
20. Большаков, А.С. Гравитационно-ударная обработка сырья под вакуумом при посоле мясных изделий / А.С. Большаков, И.И. Кишенько, А.И. Старчевой // Известия вузов. Пищевая технология. – 1993. – №1. – С.11-13.
21. Большаков, А.С. Микрорельеф мышечной ткани при посоле мяса шприцеванием и электромассированием / А.С. Большаков, Ф.А. Мадагаев, В.Н. Писменская // Известия Вузов СССР. Пищевая промышленность. – 1985. – № 4. – с. 35-36.
22. Большаков, А.С. Посол говяжьего мяса шприцеванием и электро-массированием / А.С. Большаков, Ф.А. Магадаев // Известия Вузов. Сер. Пищевая технология. – 1982. – № 6. – С. 30-32.
23. Борисенко, А.А. Теоретические и практические аспекты полифункционального использования электроактивированных жидкостей в технологии производства мясопродуктов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04, 05.18.12 / Борисенко Алексей Алексеевич. – Ставрополь, 2002. – 505 с.
24. Борисенко, А.А. Теоретические основы аналитического определения параметров регулирования активной кислотности

белоксодержащих систем [Текст] / А.А. Борисенко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – №5. – С. 13-17.

25. Борисенко, Л.А. Биотехнологические основы интенсификации производства соленых изделий: учебное пособие / Л.А. Борисенко, А.А. Борисенко, А.А. Брацихин. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 163 с.

26. Бошнятов, Б.В. Гидродинамика микропузырьковых газожидкостных сред / Б.В. Бошнятов // Известия Томского политехнического. – 2005. – № 6. – Том 308. – С. 156-160.

27. Брацихин, А.А. Теоретическое обоснование денитрифицирующей способности активированных жидких сред в технологии производства мясопродуктов / А.А. Брацихин, А.А. Борисенко, А.Е. Черлянцеv // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 2 (18). – С. 26-34.

28. Брацихин, А.А. Научно-практические аспекты интенсификации технологических процессов с использованием наноактивированных жидких сред при производстве мясопродуктов: дис. ... д-ра тех. наук: 05.18.04, 05.18.12 / Брацихин Андрей Александрович. – Ставрополь, 2009. – 511 с.

29. Вакалов, Д.С. Исследование люминесцентных свойств широкозонных дисперсных материалов на основе соединений ZnO И SrTiO<sub>3</sub>:Pr<sup>3+</sup>, Al: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Вакалов Дмитрий Сергеевич. – Ставрополь, 2014. – 143 с.

30. Вилков, К.В. Обеззараживающее действие мощного импульсного электрического разряда в воде. II. Экспериментальные результаты / К.В. Вилков, А.Л. Григорьев, Ю.А. Нагель, И.В. Уварова // ПЖТФ. – 2004. – №7. – Том 30. – с. 1-10.

31. Винникова, Л.Г. Технология мяса и мясных продуктов: учебное пособие / Л.Г. Винникова. – Киев: «ИНКОС», 2006. – 600 с.

32. Вороненко, Б.А. Решение задачи диффузии в мембране применительно к разделению эмульсий / Б.А. Вороненко, В.В. Пеленко, С.В. Поляков // Научный журнал НИУ ИТМО. – 2011. – №1. – 65-68 с.

33. Габуда, С.П. Связанная вода. Факты и гипотезы.: научно-популярная серия / С.П. Габуда. – Новосибирск, Наука, 1982. – 157с.
34. Галямова, Е.В. Механико-математическая модель поперечно-полосатой мышцы [Электронный ресурс] / Е.В. Галямова, А.М. Гуськов, В.В. Сюзев // Наука и образование. – 2010. – №8. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/issue/147164.html>
35. Головинов, Н.В. электрогидравлическая обработка отходов мукомольного производства в технологии получения биоэтанола: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.02 / Головинов Николай Валентинович. – зерноград, 2010. – 20 с.
36. Голых, Р.Н. Повышение эффективности ультразвукового кавитационного воздействия на химико-технологические процессы в гетерогенных системах с несущей высоковязкой или неньютоновской жидкой фазой : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.17.08 / Голых Роман Николаевич. – Бийск, 2014. – 19 с.
37. Гольцова, Л.И. ЭГЭ – новое в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 110 с.
38. ГОСТ 19496-2013. Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
39. ГОСТ 31674-2012 – Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности. – М.: Стандартинформ, 2012. – 29 с.
40. ГОСТ 33319-2015. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.
41. ГОСТ Р 50814-95. Мясопродукты. Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.
42. ГОСТ Р 51478-99 . Мясо и мясные продукты. Контрольный метод определения концентрации водородных ионов (рН). – М.: Стандартинформ, 2010. – 6 с.

43. ГОСТ Р 51447-99. Мясо и мясные продукты. Методы отбора проб. – М.: Стандартиформ, 2010. – 6 с.
44. ГОСТ Р 51480-99. Мясо и мясные продукты. Определение массовой доли хлоридов. – М.: Стандартиформ, 2010. – 6 с.
45. ГОСТ Р 53159-2008 . Органолептический анализ. Методология. Метод треугольника. – М.: Стандартиформ, 2009. – 15 с.
46. ГОСТ 8558.1-78. Продукты мясные. Методы определения нитрита. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 11 с.
47. ГОСТ 9957-73. Колбасные изделия и продукты из свинины, баранины и говядины. Методы определения содержания хлористого натрия. – М.: Стандартиформ, 2009. – 5 с.
48. ГОСТ 9959-91. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки. – М.: Стандартиформ, 2010. – 10 с.
49. ГОСТ Р 55480-2013. Мясо и мясные продукты. Метод определения кислотного числа. – М.: Стандартиформ, 2013. – 8 с.
50. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. – М.: Стандартиформ, 2012. – 12 с.
51. Григорьев, А.Л. Формирование ударных волн импульсными электрическими разрядами в воде и исследование их воздействия на преграды: дис. ... канд. тех. наук: 01.02.05 / Григорьев Алексей Львович. – М.: 2007. – 129 с.
52. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов: учебное пособие / Ю.П. Грачев. – М.: Пищевая промышленность, 2005. – 325 с.
53. Губер, Н.В. Минимизация рисков при внедрении технологических инноваций в мясной промышленности (на примере Южного Урала) / Н.В. Губер, М. Б. Ребезов, Г.М. Топурия // Вестник Южно-

Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2014. – №2. – С. 180-186.

54. Гудков, С.В. Механизмы образования активных форм кислорода под влиянием физических факторов и их генотоксическое действие: дис. ... д-ра биол. наук: 03.01.02 / Гудков Сергей Владимирович. – Пушино, 2012. – 270 с.

55. Гулый, Г.А. Научные основы разрядно-импульсной технологии: учебное пособие / Г.А. Гулый. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.

56. Давыдова, Р. Нетермические методы обработки пищевых продуктов / Р. Давыдова // Мясные технологии. – 2014. – №7. – С. 24-28.

57. Дашковский, Ю.А. О механизме деструкции микроорганизмов от воздействия ударной волны / Ю.А. Дашковский // Электронная обработка материалов. – 2009. – №5. – С. 80-85.

58. Дедерер И. Обработка под высоким давлением - новый метод консервирования мясопродуктов / И. Дедерер // Материалы 11-й конференции ВНИИМП. – Москва, 2008. – С. 18-25.

59. Димова, В.В. Теоретические основы процесса посола рыбы и расчет продолжительности просаливания / В.В. Димова, А.М. Ершов, В.А. Гроховский, М.А. Ершов // Вестник МГТУ. – 2006. – №5. – Т. 9. – С.858-865.

60. Дунаев, С.А. Способы интенсификации технологических процессов в мясной отрасли: конспект лекций / С.А. Дунаев, А.А. Попов. – Кемерово, 2006. – 64с.

61. Егорова, Е.В. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие / Е.В. Егорова, Ю.В. Поленов. – Иваново, 2008. – 84 с.

62. Ермолаева, Л.В. Механика буровых растворов: учеб. пособ. / Л.В. Ермолаева. – Самара; Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 47 с.

63. Ефремов, Ю.М. Исследование механических свойств клеток и структуры цитоскелета методами атомно-силовой микроскопии: дис. ... канд. биол. наук: 03.01.02 / Ефремов Юрий Михайлович. – М., 2014. – 143 с.

64. Жаринов, А.И. Расчётно-аналитические методы в колбасном производстве / А.И. Жаринов, М.П. Воякин // Всё о мясе. – 2007. – № 6. – С. 29-34.
65. Жаринов, А.И. Основы современных технологий переработки мяса. Краткий курс. Часть 2. Цельномышечные и реструктурированные мясопродукты: учебное пособие / А.И. Жаринов, О.В. Кузнецова, Н.А. Черкашин. – М.: ИТАР-ТАСС, 1997. – 324 с.
66. Жукова, Е.М. Воздействие высоковольтного электрогидравлического разряда на физико-химические свойства нефти и нефтепродуктов: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Жукова Екатерина Михайловна. – Саратов, 2008. – 23 с.
67. Зинина, О.В. Значение микроструктурного анализа при разработке способов биомодификации мясного сырья / О.В. Зинина, М.Б. Ребезов, А.А. Соловьева // Молодой ученый. – 2013. – №11. – С. 103-105.
68. Зиновьев, В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: справочник / Зиновьев В.Е. – М.: Металлургия, 1989. – 308с.
69. Казуб, В.Т. Измельчение сырья в процессе экстрагирования под воздействием электрического разряда / В.Т. Казуб [и др.] // Вестник тамбовского государственного технического университета. – 2006. – №4(1). – Том 12. – С. 994-998.
70. Казуб В.Т. Роль кавитации и пульсирующей парогазовой полости в процессах электроразрядного измельчения растительного сырья /В.Т. Казуб [и др.]// Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 9(7). – С. 21-22.
71. Кацелашвили, Д.В. Технологии мяса и мясных продуктов / Д.В. Кацелашвили // Часть 1.: Учебное пособие в 3-х частях. – Кемерово: КемТИПП, 2004. – 130 с.
72. Кошоева, Т.Р. Разработка технологии продуктов из мяса яков: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.04 / Кошоева Толгонай Рысбековна. – Бишкек, 2008. – 22 с.

73. Краснов, А.Е. Экологические аспекты технологий мясных продуктов [Текст] / А.Е. Краснов, О.Н. Красуля, С.А. Красников и др. // Технологии, оборудование и компоненты для производства мясных продуктов здорового питания: сборник трудов научно-практического семинара. – Вологда: Регионинвест, 2004. – 79 с.

74. Кудимов, Ю.Н. Электроразрядные процессы в жидкости и кинетика экстрагирования биологически активных компонентов [Текст] / Ю.Н. Кудимов, В.Т. Казуб, Е.В. Голов // Вестник ТГТУ. – 2002. – Т.8. – №2. – с. 253–264

75. Куликова, В.В. Общая технология мясной отрасли / В.В. Куликова, Ю.И. Куликов, Н.П. Оботурова. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного ун-та, 2013. – 360с.

76. Куликова, В.В. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов: учебное пособие / В.В. Куликова, С.И. Постников, Н.П. Оботурова. – Ставрополь: Бюро новостей, 2011. – 260с.

77. Кузнецова, Т.Г. Научно-практические основы структурообразования мясопродуктов из сырья различного качества в условиях направленных биотехнологических воздействий: автореф. дис. ... д-ра вет. наук: 16.00.02 / Кузнецова Татьяна Георгиевна. – М., 2007. – 45с.

78. Курец, В.И. Электроразрядные технологии обработки и разрушения материалов: учебное пособие / В.И. Курец [и др.]. – Томск: Изд. Томского политех. ун-та, 2012. – 272 с.

79. Кусаиынов, К. Исследование износа металлической части электродной системы электрогидравлического бура / К. Кусаиынов, Б.Р. Нусупбеков, С.Е. Сакипова, Н.Н. Шуюшбаева, А.К. Хасенов // Металлофизика и новейшие технологии. – 2015. – Т. 37. – С. 397-407.

80. Куцакова, В.Е. Осмотические явления в пищевых продуктах посол рыбы и мяса: учебно-методическое пособие / В.Е. Куцакова, С.В. Фролов. – СПб: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 41 с.

81. Лимонов, Г.Е. Применение вибрации для интенсификации массообменных процессов при посоле мяса / Г.Е. Лимонов, О.П. Боровикова, Н.А. Горбунова. – М.: АгроНИИТЭИММП, 1992. – 32 с.
82. Лисицын, А.Б. Производство мясной продукции на основе биотехнологии: учебное пособие / А.Б. Лисицын, Н.Н. Липатов, Л.С. Кудряшов, В.А. Алексахина. – М.: ВНИИМП, 2005. – 369 с.
83. Лузина, Н.И. Микробиология мяса и мясных продуктов: учебное пособие / Н.И. Лузина. – Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2004. – 75 с.
84. Лукьянченко, П.П. Влияние разрядно-импульсной обработки на структурообразование в органических дисперсиях / П. П. Лукьянченко [и др.] // Мясная индустрия. – 2008. – №2. – С.33-36.
85. Мазуровский, Б.Я. Электрогидравлический эффект в листовой штамповке / Б.Я. Мазуровский, А.Н. Сизёв. – Киев: Наукова думка, 1983. – 192 с.
86. Макарова, Е.Л. Закономерности адсорбционной иммобилизации глюкоамилазы на биополимерах и углеродных нанотрубках: дис. ... канд. биол. наук: 03.01.02 / Макарова Екатерина Леонидовна. – Воронеж, 2014. – 173 с.
87. Малюшевский, П.П. Основы разрядно-импульсной технологии: учебное пособие / П.П. Малюшевский. – Киев: Наукова Думка, 1983. – 272 с.
88. Марьин, В.А. Нерешенные фундаментальные проблемы общей микробиологии [Текст] / В. А. Марьин, Д. В. Харитонов, И. В. Харитонova // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – №2. – С. 115-125
89. Машанова, Н.С. Исследование микроструктуры мышечной ткани при посоле / Н.С. Машанова // Вестник КарГТУ. – 2010. – №4(58). – С. 66-72.
90. Мирошникова, Е.П. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов: учебное пособие / Е.П. Мирошникова, О.В. Богатова, С.В. Стадников. – Оренбург: ГОУ ОГ, 2005. – 248 с.

91. Медведев, Я.В. Определение миоглобин-зависимой пероксидазной активности мышечной ткани / Я.В. Медведев, И.С. Шаталов // Биотехнология. Взгляд в будущее: сборник трудов международной интернет-конференции (Казань, 17-19 апреля 2012). – Казань: Изд-во «Казанский университет», 2012. – С. 147-149.

92. Нагдалян, А.А. Влияние электрогидравлического эффекта на гидратацию биополимеров / Нагдалян А.А., Н.П. Оботурова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 12. – С. 74-78.

93. Нагдалян, А.А. Исследование характеристик электроимпульсного разряда в водных растворах хлористого натрия / А.А. Нагдалян, Н.П. Оботурова, Л.И. Барыбина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – 2013. – №02(086). – С. 291 – 300. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/02/pdf/20>.

94. Нагдалян, А.А. Исследование влияния разрядно-импульсной обработки системы «рассол-мясо» на содержание сухих веществ и размер частиц в рассолах / А.А. Нагдалян, Н.П. Оботурова, А.В. Серов // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. – 2015. – № 1. – С. 327-330.

95. Нарыжный, А.Г. Вычислительная модель электрогидравлического эффекта / А.Г. Нарыжный // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2012. – № 54. – С. 112-124.

96. Наугольных, К.А. Электрические разряды в воде / К.А. Наугольных, Н.А. Рой. – М.: Наука, 1971. – 155 с.

97. Нестеренко, А.А. Устройство для электромагнитной обработки мясного сырья и стартовых культур [Электронный ресурс] / А.А. Нестеренко, К.В. Акопян // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №101. – С. 1-21. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/33.pdf>

98. Нестеренко, А.А. Влияние электромагнитной обработки низкочастотным излучением на мясное сырье [Электронный ресурс] / А.А. Нестеренко, А.И. Решетняк, Е.Г. Горина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №94. – С.1-13. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/44.pdf>

99. Нестеренко, А.А. Разработка технологии производства сырокопченых колбас с применением электромагнитной обработки мясного сырья и стартовых культур: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Нестеренко Антон Алексеевич. – Воронеж, 2013. – 185 с.

100. Никифорова, А.П. Разработка технологии варено-копченых продуктов из говядины с использованием пропионовокислых бактерий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Никифорова Анна Платоновна. – Улан-Удэ, 2012. – 18 с.

101. Оботурова, Н.П. Разработка нового способа интенсификации процесса посола мясного сырья, основанного на электрогидравлическом эффекте / Н.П. Оботурова, П.П. Лукьянченко, А.А. Нагдалян / Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции в условиях ВТО в 2-х частях: материалы международной научно-практической конференции. – Ставрополь, ГНУ СНИИЖК, 2013. – С. 224-226.

102. Оботурова, Н.П. Разрядно-импульсное воздействие для интенсификации посола мяса / Н.П. Оботурова, О.Н. Кожевникова, Л.И. Барыбина, А.А. Нагдалян // Мясная индустрия. – 2012. – № 12. – С. 32-35.

103. Огнева, И.В. Биофизические механизмы изменения механических свойств волокон скелетных мышц при опорной разгрузке: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 03.01.02 / Огнева Ирина Владимировна. – М., 2011. – 274 с.

104. Огнева, И.В. Использование атомной силовой микроскопии для измерения поперечной жесткости одиночных мышечных волокон

[Электронный ресурс] / И.В. Огнева // Физиология мышечной деятельности. – 2010. – Режим доступа: <http://phmag.imbp.ru/articles/Ogneva.pdf>

105. Огнева, И.В. Поперечная жесткость мышечных волокон. Методы измерения и физиологические основы / И.В. Огнева, Д.В. Лебедев, Б.С. Шенкман // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2008. – Т. 42. – № 3. – С. 69-74.

106. Патент RU 126571 A23B4/02 Устройство для посола мясного сырья с помощью разрядно-импульсных технологий / Н.П. Оботурова, П.П. Лукьянченко, А.А. Нагдалян // заяв. 04.03.2012, опубл. 10.04.2013

107. Патент RU 2204905 A22C9 Устройство для тумблирования мяса / А.А. Борисенко, А.А. Брацихин, А.О. Кошевой, Л.А. Сарычева, Р.А. Писаренко // заяв.03.07. 2001, опубл. 27.05.2003

108. Патент RU 2210914 A23B4/023 A23L1/318 Способ посола мясных изделий / А.А. Борисенко, А.А. Брацихин, А.О. Кошевой, Л.А. Сарычева, Р.А. Писаренко // заяв.02.07. 2001, опубл. 27.08.2003

109. Патент RU 2369332 A61B10/00 Способ определения жесткости костамера мышечных волокон / И.В. Огнева, Д.В. Лебедев, Е. Н. Липец, Б.С. Шенкман // заяв.24.07. 2008, опубл. 10.10.2009

110. Патент RU 2489886 A23B4/01 Устройство для обработки мясного сырья / А.И. Решетняк, Д.А. Бебко, А.А. Нестеренко, И.И. Бессалая // заяв.19.12. 2011, опубл. 20.08.2013

111. Патракова, И.С. Разработка технологии копчено-вареных продуктов повышенного качества из говядины с использованием бифидобактерий: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Патракова Ирина Сергеевна. – М, 2003. – 147 с.

112. Перкель, Т. П. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов: учебное пособие / Т.П. Перкель. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2004. – 100 с.

113. ПНД Ф 14.1:2:4.50-96. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой. – М., 1996 (Издание 2011). – 17 с.

114. ПНД Ф 14.1:2:4.139-98. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектрометрии. – М., 1998 (Издание 2010). – 18 с.

115. ПНД Ф 14.1:2:4.114-97. Методика выполнения измерений массовой концентрации сухого остатка в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. – М., 1997 (Издание 2011). – 9 с.

116. ПНД Ф 14.1:2.93-97. Методика выполнения измерений массовой концентрации алюминия в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с сульфохромом. – М., 1997 (Изд. 2004). – 15 с.

117. Подхомутов, Н.В. Разработка математических моделей кавитационного реактора для очистки и активирования посолочных рассолов в производстве мясопродуктов: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.18 / Подхомутов Николай Владимирович. – М., 2004. – 159 с.

118. Поздеев, В.А. Прикладная гидродинамика электрического разряда в жидкости / В.А. Поздеев. – К.: Наукова думка, 1980. – 192 с.

119. Постановление Правительства РФ №778 от 7 августа 2014 года «О мерах по реализации указов Президента Российской Федерации от 6 августа 2014 г. №560»

120. Полякова, А.В. Разработка эффективной технологии деликатесных изделий из говядины ранних сроков автолиза: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Полякова Алла Викторовна. – М., 2003. – 180 с.

121. Постников, С.И. Технология мяса и мясных продуктов: курс лекций / С.И. Постников. – Ставрополь, СевКавГТУ, 2007. – 112 с.

122. Посухов, А.С. Интегрированная информационно-аналитическая система для исследования диффузии в композиционных материалах при

радиационных и механических нагрузка: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.01 / Посухов Александр Сергеевич. – Сумы, 2012. – 142 с.

123. Потороко, И.Ю. Исследование кинетических закономерностей посола мяса птицы с использованием кавитационно активированных жидких сред / И.Ю. Потороко, Л.А. Цирульниченко // Прикладная биохимия и биотехнологии. – 2014. – №3. – Том 2. – С. 21-28.

124. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ (Минсельхоз РФ) от 25.06.2007 г. №342 «О концепции развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России до 2025 года» [Электронный ресурс]. - <http://banner.allmedia.ru/>

125. Промтов, М.А. Машины и аппараты с импульсным энергетическим воздействием на обрабатываемые вещества: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 136 с.

126. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – 265 с.

127. Решетков, И.В. Разработка технологии посола мяса в условиях низкочастотных колебаний рассола при производстве варено-копченых продуктов из свинины: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.04 / Решетков Игорь Викторович. – М., 2012. – 23 с.

128. Рожков, С.П. Эффекты кластеризации глобулярных белков в растворах: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.01.02 / Рожков Сергей Павлович. – Санкт-Петербург, 2010. – 38 с.

129. Салаткова, Н.П. Совершенствование цветовых характеристик колбасных изделий, содержащих белковые препараты с использованием нитритной соли: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Салаткова Надежда Павловна. – Ставрополь, 2005. – 19 с.

130. СанПиН 2.1.4.2652-2010 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Изменение к СанПиН 2.1.4.1074-01 –

М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 27 с.

131. Сапунов, Д.А. Экспериментальное исследование модификации наноматериалов при помощи импульсного высоковольтного разряда в проводящей жидкости: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.08 / Сапунов Дмитрий Андреевич. – М: 2012. – 24 с.

132. Селимов, М.А. Разработка технологии мясопродукта с пищевой антиоксидантной добавкой: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Селимов Магомед Асланович. – Ставрополь, 2011. – 136 с.

133. Семкин, Б.В. Основы электроимпульсного разрушения материалов / Б.В. Семкин, А.Ф. Усов, В.И. Курец. – СПб.: Наука, 1993. – 276 с.

134. Сериков, Л.В. Деструкция органических веществ в растворах под действием импульсных электрических разрядов: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Электроразрядные технологии обработки и разрушения материалов, обучающихся по направлению 140200 «Электроэнергетика», магистерская программа «Техника и физика высоких напряжений» / Л.Н. Шиян, Л.В. Сериков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 59 с.

135. Серов, А.В. Изучение влияния условий дисперсионной среды на агрегативную устойчивость наночастиц селена / А.В. Серов, А.Г. Храмцов, В.П. Тимченко, М.В. Мирошниченко // Вестник СевКавГТУ. – 2012. – № 2 (31). – С. 79-82.

136. Соколов, А.А. Физико-химические и биохимические основы технологии мясопродуктов: учебное пособие / А.А. Соколов. – М.: Пищевая промышленность, 1965. – 511 с.

137. Стрекалова, Е.В. Разработка технологии варено-копченых продуктов из ферментированной говядины с разным сроком автолиза: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Стрекалова Елена Владимировна. – М., 2008. – 20 с.

138. Сытник, И.А. Электрогидравлическое действие на микроорганизмы / И.А. Сытник. – К: Здоровья, 1982. – 94 с.
139. Технический регламент (ТР ТС 034/2013) от 09.10.2013 г. «О безопасности мяса и мясной продукции».
140. Титков, В.В. К оценке давления электрогидравлического эффекта в неограниченной упругой среде / В.В. Титков // Письма в ЖТФ. – 2010. – №15. – Том 36. – С.8-13.
141. Трепов, Д.А. Исследование импульсных разрядов атмосферного давления и разработка оборудования для создания бактерицидной защиты технологических сред и изделий РЭА: дис. ... канд. тех. наук: 05.27.06 / Трепов Дмитрий Александрович. – М.: 2008. – 157 с.
142. Уразбаев, Ж.З. Основы механической обработки сырья животного и растительного происхождения и технологии производства комбинированных мясных продуктов / Ж.З. Уразбаев, С.Н. Уалиев, А.К. Какимов, Б.Б. Кабулов: монография. – Семей: Семипалатинский государственный университет имени Шакарима, 2010. – 260 с.
143. Фатьянов, Е.В. К вопросу анализа общего химического состава мясного сырья / Е.В. Фатьянов, С.А. Сидоров // Вестник мясного скотоводства. – 2015. – № 3 (91). – С. 75-78.
144. Хабибуллин, Р. Э. Пищевые добавки и улучшители в технологии мяса и мясопродуктов: учебное пособие / Р.Э. Хабибуллин [и др.]. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. – 132 с.
145. Химический состав и энергетическая ценность пищевых продуктов: справочник МакКанса и Уиддоусона / пер. с англ. под общ. ред. А. К. Батурина. – СПб.: Профессия, 2006. – 416 с.
146. Цирульниченко, Л.А. Формирование улучшенных потребительских свойств продуктов переработки мяса птицы, выработанных с использованием эффектов ультразвукового воздействия на основе водоподготовки: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.05 / Цирульниченко Лина Александровна. – Орел, 2014. – 182 с.

147. Шаманаева, Е.А. Исследование процесса получения активированных жидких систем и их использование для производства изделий из мяса птицы: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.04 / Шаманаева Елена Анатольевна. – Ставрополь, 2005. – 209 с.

148. Шапошник, В.А. Кинетическая теория водных растворов электролитов [Текст] / В.А. Шапошник / Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2003. – №2. – С.81-85.

149. Шестаков, С.Д. Технологические особенности и преимущества «мокрого» посола мяса активированным посолочным рассолом [Текст] / С.Д. Шестаков, Н.А. Джафарова // Технологии, оборудование и компоненты для производства мясных продуктов здорового питания: сборник трудов научно-практического семинара. – Вологда: Регионинвест, 2004. – 79 с.

150. Шестаков, С.Д. Управляемая гидратация биополимеров - безопасный, эффективный и универсальный способ увеличения объема производимого сельхозсырья и продовольственных продуктов / С. Д. Шестаков // Ефективні корми та годівля: спеціалізований журнал з питань кормів та годівлі. – 2007. – №5. – С. 36-38.

151. Шлыков, С.Н. Исследование влияния ультразвукового акустического поля на эмульгированные фаршевые системы и качественные показатели готового продукта / С.Н. Шлыков, Р.С. Омаров, Т.В. Вобликова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 93. – № 93 (03). – С. 708-722.

152. Шуманова, М.В. К вопросу математической модели процесса посола мяса сельди / М.В. Шуманова, Ю.А. Фатыхов, В.А. Шуманов // Вестник МАХ. – 2015. – №1. – С. 26-28.

153. Юткин, Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин. – Л.: Машиностроение, 1986. – 208 с.

154. Юшков, Ю.Г. Исследование инициирования электрического разряда в воде при разработке электрогидравлической технологии [Текст] / Ю. Г. Юшков [и др.] // Технические науки: теория и практика: материалы междунар. науч. конф. (Чита, апрель 2012). – Чита: Изд. Молодой ученый, 2012. – С. 139-141.

155. Ющишина, А.Н. Изучение химических реакций при электроразрядном воздействии в воде и водных растворах неорганических веществ / А.Н. Ющишина, Н.И. Кускова, А.П. Малюшевская // Электронная обработка материалов. – 2007. – № 5. – С. 52-55.

156. Якубов, Г.Э. Измерения поверхностных и гидродинамических сил между модельными частицами с помощью атомно-силового микроскопа: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Якубов Глеб Эдуардович. – М., 2002. – 176 с.

157. Akiyama, N. Transverse stiffness of myofibrils of skeletal and cardiac muscles studied by atomic force microscopy / Akiyama N., Ohnuki Y., Kunioka Y., Saeki Y., Yamada T. // J. Physiol. Sci. – 2006. – Vol. 56. – P. 145–151.

158. Alarcon-Rojo, A.D. Power ultrasound in meat processing / A.D. Alarcon-Rojo, H. Janacua, J.C. Rodriguez, L. Paniwnyk, T.J. Mason // Meat Science. – 2015. – Vol. 107. – P. 86-93.

159. Alexander, P. Mode of action of some substances which protect against the lethal effects of X-rays. / P. Alexander, Z. Bacq, S. Counsens, M. Fox, A. Herve, J. Lazar // Radiat. Res. – 1955. – Vol. 2. – P. 392-400.

160. Bajovic, B. Quality considerations with high pressure processing of fresh and value added meat products / B. Bajovic, T. Bolumar, V. Heinz // Meat Science. – 2012. – Vol. 92. – p. 280–289.

161. Beckman, J.S. Apparent hydroxyl radical production by peroxynitrite: implications for endothelial injury from nitric oxide and superoxide [Text] / J.S. Beckman, T.W. Beckman, J. Chen [et al.]. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1990. – v.87. – P. 1620-1624.

162. Bolumar, T. New developments in shockwave technology intended for meat tenderization: Opportunities and challenges. A review / T. Bolumar, M. Enneking, S. Toepfl, Volker Heinz // *Meat Science*. – 2013. – Vol. 95. – p. 931-939.
163. Bolumar, T. Effect of electrohydraulic shockwave treatment on tenderness, muscle cathepsin and peptidase activities and microstructure of beef loin steaks from Holstein young bulls / T. Bolumar, U. Bindrich, S. Toepfl, F. Toldrá, V. Heinz // *Meat Science*. – 2014. – Vol. 98. – p. 759-765.
164. Boriek, A.M. Desmin integrates the three-dimensional mechanical properties of muscles / A.M. Boriek, Y. Capetanaki, W. Hwang, T. Officer, M. Badshah, J. Rodarte, J.G. Tidball // *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* – 2001. – Vol. 280. – P. 46-52.
165. Bowker, B.C. Effects of hydrodynamic pressure processing on the marination and meat quality of turkey breasts / B.C. Bowker, J.A. Callahan, M.B. Solomon // *Poultry Science*. – 2010. – Vol. 89(8). – P. 1744-1749.
166. Bowker, B.C. Effect of hydrodynamic pressure processing and aging on sarcoplasmic proteins of beef strip loins / B.C. Bowker, T.M. Fahrenholz, E.W. Paroczay, M.B. Solomon // *Journal of Muscle Foods*. – 2008. – Vol. 19. – P. 175-193.
167. Bowker, B.C. Tenderization of beef loins using a high efficiency sparker / B.C. Bowker, B.S. Raymond, J.G. Michael, B.S. Morse // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2011. – Vol. 12. – P. 135-141.
168. Campus, M. Effect of high pressure treatment on colour, microbial and chemical characteristics of dry cured loin / M. Campus, M. Flores, A. Martinez, F. Toldrá // *Meat Science*. – 2008. – Vol. 80. – P. 1174-1181.
169. Claus J. R. Shock treatment – shock waves are an effective tool for tenderizing meat. *Meat and Poultry*. – 2002. – Vol. 12. – P. 61-63.
170. Clinouart, A. Water activity of Belgian meat products: relationship with some physical-chemical or microbiological parameters / A. Clinouart, C. Thomassin, A. Bosseloir, G. Daube // 44th International Congress of Meat Science

and Technology: August 30th-September 4th, 1998. Barcelona, Spain. – 1998. – V. I. – P. 442-443.

171. Collinsworth, A.M. Apparent elastic modulus and hysteresis of skeletal muscle cells throughout differentiation / A.M. Collinsworth // *Am. J. Physiol. Physiol.* – 2002. – T. 283. – № 4. – P. 1219–1227.

172. Costa, K.D. Non-Hertzian approach to analyzing mechanical properties of endothelial cells probed by atomic force microscopy / K.D. Costa, A.J. Sim, F.C. Yin // *J Biomech Eng.* – 2006. – Vol. 128. – №2. – P. 176 - 184.

173. Christensen, M. Injection of marinade with actinidin increases tenderness of porcine M. biceps femoris and affects myofibrils and connective tissue / M. Christensen, M.A. Torngren, A. Gunvig // *J. of the Sci. of Food and Agricul.* – 2009. – Vol. 89. – Iss. 9.

174. Christian, L. Diffusion of NaCl in meat studied by  $^1\text{H}$  and  $^{23}\text{Na}$  magnetic resonance imaging / L.H. Christian, Frans van der Berg, S. Ringgaard, H. Stødkilde-Jørgensen, A.H. Karlsson // *Meat Science.* – 2008. – Vol. 80. – P. 851-856

175. Damez, J.-L. Quantifying and predicting meat and meat products quality attributes using electromagnetic waves: An overview / J.-L. Damez, S. Clerjon // *Meat Science.* – 2013. – Vol. 95. – P.879–896.

176. Dederer, I. Aspekte der Anwendung der Hochdruckbehandlung bei Fleischerzeugnissen / I. Dederer, R. Lautenshlaeger // *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach.* – 2015. – Vol. 207. – P. 11-18.

177. Defranchi E. Imaging and elasticity measurements of the sarcolemma of fully differentiated skeletal muscle fibres / E. Defranchi, E. Bonaccorso, M. Tedesco, M. Canato, E. Pavan, R. Raiteri, C. Reggiani // *Microscopy Research and Technique.* – 2005. – Vol. 67. – P. 27 – 35.

178. Djelveh, G. Measurement of Effective Diffusivities of ionic and Non-Ionic solutes through Beef and pork Muscles using a diffusion Cell / G. Djelveh, J.B Gros // *Meat Science.* – 1988. – Vol. 23. – P. 11-20.

179. Filipović, V. Mass transfer and microbiological profile of pork meat dehydrated in two different osmotic solutions / V.S. Filipović, Lj. Ćurčić Biljana, R. Nićetin Milica, V. Plavšić Dragana, B. Koprivica Gordana, M. Mišljenović Nevena // SCIENTIFIC PAPER. – 2012. – Vol. 66(5). – P. 743-748.
180. Graiver, N. Diffusion of sodium chloride in pork tissue / N. Graivera, A. Pinottia, A. Califanoa, N. Zaritzkya // Journal of Food Engineering. – 2006. – Vol. 77(4). – P. 910–918.
181. Grossi, A. High pressure treatment of brine enhanced pork affects endopeptidase activity, protein solubility, and peptide formation / A. Grossi, V. Gkarane, J. A. Otte, P. Ertbjerg, V. Orlien // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 134 (3). – P. 1556-1563.
182. Hashiba, H. Dual mode diffusion and sorption of sodium chloride in pork meats under cooking conditions / H. Hashiba, H. Gocho, J. Komiyama // WT - Food Science and Technology. – 2009. – Vol. 42. – P. 1153-1163.
183. Hategan, A. Adhesively-Tensed Cell Membranes: Lysis Kinetics and Atomic Force Microscopy Probing / A. Hategan, R. Law, S. Kahn, D. Dische // Biophysical Journal. – 2003. – Vol. 85. – P. 2746–2759.
184. Hugas, M. New mild technologies in meat processing / M. Hugas, M. Garriga, J.M. Monfort // High pressure as a model technology. Meat Sci. – 2002. – Vol. 62. – p. 359-371.
185. Hui, Y. H. Handbook of Meat, Poultry and Seafood Quality / Y. H. Hui [et al.]. – Ames: Blackwell Publishing, 2007. – 719 p.
186. Hui, Y. H. Handbook of meat and meat processing / Y. H. Hui [et al.]. – CRC Press, 2012. – 982 p.
187. Jensen, W.K. Encyclopedia of Meat Sciences, Three-Volume Set / W.K. Jensen, C. Devine, M. Dikeman. – New York: Elsevier, 2004. – 1553 p.
188. Lee, B-H. Underwater Discharge Phenomena in Inhomogeneous Electric Fields Caused by Impulse Voltages / B-H. Lee // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2010. – Vol. 5. – №. 2. – P. 329-336.

189. Lonergan, H.E. Biochemistry of postmortem muscle - Lessons on mechanisms of meat tenderization / H. E. Lonergan, W. Zhang, S.M. Lonergan // *Meat Science*. – 2010. – Vol. 86. – P. 184-195.
190. Ma, H.J. Effects of high pressure/thermal treatment on lipid oxidation in beef and chicken muscle / H.J. Ma, D.A. Ledward, A.I. Zamri, R.A. Frazier, G.H. Zhou // *Food Chem*. – 2002. – Vol. 104. – P.1575-1579.
191. Marcos, B. High pressure induced changes on sarcoplasmic protein fraction and quality indicators / B. Marcos, J.P. Kerry, A.M. Mullen // *Meat Sci*. – 2010. – Vol. 85. – P.115-120.
192. Mathur, A.B. Endothelial, cardiac muscle and skeletal muscle exhibit different viscous and elastic properties as determined by atomic force microscopy / A.B. Mathur // *J. Biomech*. – 2001. – T. 34. – № 12. – P. 1545–1553.
193. Morris, V.J. Atomic force microscopy (AFM) and related tools for the imaging of foods and beverages on the nanoscale / V.J. Morris // *Nanotechnology in the Food, Beverage and Nutraceutical Industries*. – 2012. – Vol 4 – P. 99-148.
194. Myers, K. L. Evaluation of high hydrostatic pressure, meat species, and ingredients to control *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meats. Graduate Theses and Dissertations. – 2010. – P. 12597. <http://lib.dr.iastate.edu/etd/12597>
195. Nagdalian, A.A. Development of electrohydraulic technology of meat salting / A.A. Nagdalian, N.P. Oboturova // *European Science and Technology: 5th International scientific conference*. – Munich, 2013. – p.514.
196. Nagdalian, A.A. Study of the Influence of the Electrohydraulic Effect on the Structure and Mechanical Properties of Muscular Tissue Using Atomic-Force Microscopy / A.A. Nagdalian, N.P. Oboturova, M.A. Selimov, R.O. Budkevich, E.L. Demchenkov // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2016. – Vol. 7. – P. 517-523.
197. Nagdalian, A.A. Ways to Reduce the Oxidative Activity of Raw Meat after a Treatment By Pulsed Discharge Technology / A.A. Nagdalian, M.A. Selimov, N.P. Oboturova, M.V. Topchii , Gatina Y.S., E.L. Demchenkov //

Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – Vol. 7. – P. 1927-1923.

198. Oboturova, N.P. The study on the influence of the electrohydraulic effect on the diffusion coefficient and the penetration depth of salt into muscle tissues during salting / N.P. Oboturova, I.A. Evdokimov, A.A. Nagdalian, Y.I. Kulikov, O.A. Gusevskaya // *Foods and Raw Materials*. – 2015. – T. 3. – № 2. – P. 74-81.

199. Ozuna, C. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations / C. Ozuna, A. Puig, J.V. García-Pérez, A. Mulet, J.A. Cárcel // *Journal of Food Engineering*. – 2013. – Vol. 119. – P. 84-93.

200. Patent WO 2004045293 A1 Improvement in shock wave tenderization of meat/ John B. Long, Peter Thomsen, Donald Waits // PCT/US2003/036842 11.18.2002, filed 06.03.2004

201. Pierre, A. Estimation of NaCl diffusivity by computed tomography in the Semimembranosus muscle during salting of fresh and frozen/thawed hams / A.P. Pierre, P. Gou, E. Fulladosa, E. Santos-Garcés, J. Arnau // *LWT - Food Science and Technology*. – 2013. – Vol. 51. – P. 275-280.

202. Rahman, M.Sh. Handbook of food preservation / M.Sh. Rahman. – CRC Press, 2007. – 806 p.

203. Sharedeh, D. Effects of pH and NaCl levels in a beef marinade on physicochemical states of lipids and proteins and on tissue microstructure / D. Sharedeh, P. Gatellier, T. Astruc, J.-D. Daudin // *Meat Science*. – 2015. – Vol. 110. – P. 24-31.

204. Sikes, A. A proposed mechanism of tenderising post-rigor beef using high pressure–heat treatment / A. Sikes, E. Tornberg, R. Tume // *Meat Science*. – 2010. – Vol. 84 (3). – P. 390-399.

205. Sneddon, I.N. The relation between load and penetration in the axisymmetric boussinesq problem for a punch of arbitrary profile / I.N. Sneddon // *Int. J. Eng. Sci.* – 1965. – Vol. 3. – P. 47-57.

206. Solomon, M.B. Hydrodynamic pressure processing to improve meat quality and safety / M.B. Solomon, M.N. Liu, L.M.L. Nollet, F. Toldra // *Advanced Technologies for Meat Processing*. – Boca raton, CRC, 2006. – P. 63-68.
207. Toepfl, S. New Technologies – preservation and structural modification of food products by innovative processes / S. Toepfl, V. Heinz // *Fleischwirtschaft International Russia*. – 2010. – № 3(1). – P. 32-37.
208. Toldra, F. *Yandbook of meat processing* / F. Toldra. – Ames: Willey-Blackwell, 2010. – 566 p.
209. Wu, X. Development of a database for total antioxidant capacity in food: preliminary study Text / X. Wu, L. Gu, J. Holden // *J. Food Composition and Analysis*. – 2004. – Vol. 17. – P. 407-422.
210. Yang, H. Application of Atomic Force Microscopy as a Nanotechnology Tool in Food Science / H. Yang, Y. Wang, S. Lai, H. An, li Y, F. Chen // *JOURNAL OF FOOD SCIENCE*. – 2007. – Vol. 72. – P. 65-73.
211. Zbigniew, J. Applications of ultrasound in food technology / Zbigniew J. Dolatowski, Joanna Stadnik, Dariusz Stasiak // *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* – 2007. – Vol. 6(3). – P. 89-99.
212. Zukerman, H. Inactivation of microorganisms using pulsed high-current underwater discharges / H. Zukerman, Ya. Krasik, J. Felsteiner // *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. – 2002. – №3. – P. 329–336.
213. Zuckerman, H. Microstructure alterations in beef intramuscular connective tissue caused by hydrodynamic pressure processing / H. Zuckerman, B. C. Bowker, J.S. Eastridge, M.B. Solomon // *Meat Science*. – 2013. – Vol. 95. – P.603-607.

## Приложение А

### Конструкция и принципиальная электрическая схема ГИТ-6

ГИТ-6 собран из конденсаторов К75-40а (40 мкФ, 5кВ). Шесть пар последовательно включенных конденсаторов объединяются в модуль путем параллельного включения. Таким образом, максимальная емкость батареи составляет 120 мкФ. Все модули испытаны напряжением 5,5 кВ. Поэтому с большой степенью уверенности можно считать, что батарею можно заряжать до 10 кВ, что соответствует запасаемой энергии 6 кДж. Подключение каждого модуля к коммутатору осуществлено кабелем РК-50-11-11 длиной 2м.

Для подключения излучателя ко второму электроду разрядника подсоединены 4 коротких кабеля РК-50-11-11 (для обеспечения симметрии разряда в разряднике), объединяющиеся на одной общей клемме.

ГИТ-6 характеризуется следующими техническими данными:

- Максимальное напряжение заряда накопительных конденсаторов 9,5-10 кВ
- Максимальная энергия заряда 6 кДж (минимальная- 1 кДж)
- Максимальное значение емкости накопительных конденсаторов 120 мкФ (минимальное – 20 мкФ)
- ГИТ-6 вырабатывает импульс синхронизации для запуска внешних устройств с амплитудой не менее 10 В и длительностью не менее 2 мс

Конструкция установки представлена на рис. А1.



Рисунок А1– Конструкция ГИТ-6

Электропитание осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В с частотой 50 Гц.

Габаритные размеры ГИТ-6 в сборе составляют 700x700x900 мм.

Конструктивно генератор выполнен в виде стойки, состоящей из 3 блоков: блок зарядного устройства, блок конденсаторов, блок управления зарядом и разрядника.

1–блок зарядного устройства (силовой блок), 2– блок конденсаторов, 3– блок управления зарядом и разрядника (блок электроники и автоматики), 4–кабель высоковольтный импульсный (КВИМ), 5– излучатель №63 (межэлектродное расстояние 45мм.), 6–пульт управления разрядами, 7– штатив.

Схематически принцип действия генератора импульсных токов ГИТ-6 представлен на рис.А2.

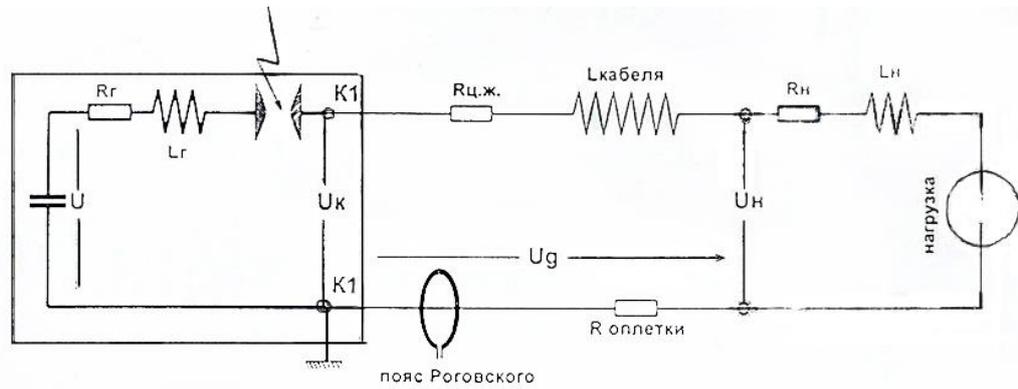


Рисунок А2 – Принципиальная электрическая схема ГИТ

$U$  - напряжение внутреннего высоковольтного соединения,  $U_k$  - напряжение, подающееся на кабель,  $U_g$  - падение напряжения на активном сопротивлении оплетки кабеля,  $U_n$  - напряжение на излучателе,  $R_r$  - суммарное активное сопротивление внутреннего высоковольтного соединения,  $K_1$  - сопротивление магистрального кабеля,  $R_{ц.ж.}$  - активное сопротивление центральной жилы кабеля,  $R_{оплетки}$  - активное сопротивление оплетки кабеля,  $R_n$  - активное сопротивление излучателя (разрядного промежутка),  $L_r$  - индуктивность внутренних высоковольтных проводов, ошиновки и разрядника, подходящих к клеммам подключения нагрузки,  $L_{кабеля}$  - индуктивность кабеля,  $L_n$  - индуктивность излучателя (нагрузки).

## Приложение Б

### Выбор оптимальных режимов обработки

С целью выявления оптимальных параметров разрядно-импульсной обработки было проведено исследование изменения содержания влаги и влагосвязывающей способности мясного сырья при различной емкости конденсаторов (1-6 кДж) и разном количестве импульсов (100-500 имп.)

Результаты исследования представлены в таблице Б2.

Таблица Б1 – Влияние различных параметров РИО на содержание влаги и влагосвязывающую способность мясного сырья

Энергия разряда, кДж	Количество импульсов	Показатели мясного сырья	
		Содержание влаги, %	ВСС, %
1	100	71,6±1,2	69,5±0,6
	200	72,2±1,1	72,2±0,3
	300	73,1±0,7	73,3±2,0
	400	73,6±1,1	74,2±1,1
	500	74,5±0,9	75,2±0,4
2	100	72,4±0,4	73,5±0,8
	200	72,8±0,8	74,2±1,3
	300	74,9±1,4	76,8±1,4
	400	75,7±1,5	78,6±2,1
	500	76,1±2,1	79,3±2,2
3	100	73,1±1,5	76,1±1,2
	200	74,7±1,1	77,5±1,7
	300	75,8±1,2	80,4±0,8
	400	77,7±0,9	81,6±0,7
	500	78,5±0,6	83,2±1,9
4	100	74,7±1,3	78,9±1,4
	200	76,4±1,6	82,6±1,1
	300	77,1±1,2	87,9±0,4
	400	79,4±0,8	88,4±0,7
	500	80,3±1,1	89,2±0,7
5	100	76,5±0,5	82,9±2,6
	200	77,4±1,1	85,6±1,8
	300	83,1±0,8	91,3±1,4
	400	82,5±0,3	81,2±0,8
	500	81,8±0,3	73,3±1,6
6	100	78,5±1,4	72,9±1,9
	200	79,4±1,6	72,6±1,3
	300	82,8±1,1	71,3±1,8
	400	82,7±2,2	71,2±2,1
	500	81,2±1,7	70,3±2,4

Стоит отметить, что на начальном этапе экспериментальных исследований использовались относительно низкие энергетические параметры разряда. Однако научно-практическая значимость этих результатов оказалась несколько ниже результатов, представленных в данной работе, что связано с недостаточной эффективностью технологии при обработке в «щадящем режиме» (до 3 кДж – по Л.А. Юткину, 1985).



Рисунок Б1– Разрядно-импульсная обработка мясного сырья в «щадящем режиме»

Обработка результатов, представленных в таблице Б1 осуществлялась с помощью авторской программы «Уникальный импульс». Оригинальность программы состоит в том, что при трехмерном моделировании выявленных эмпирических зависимостей, автоматически устанавливается положительный и отрицательный тренды, выводятся оптимальные значения энергии разряда и количества импульсов, производится письменный анализ модели. В процессе моделирования программа «Уникальный импульс» генерирует таблицу-массив, в которую можно внести результаты исследований, предварительно задав количество строк и столбцов (рисунок Б2).

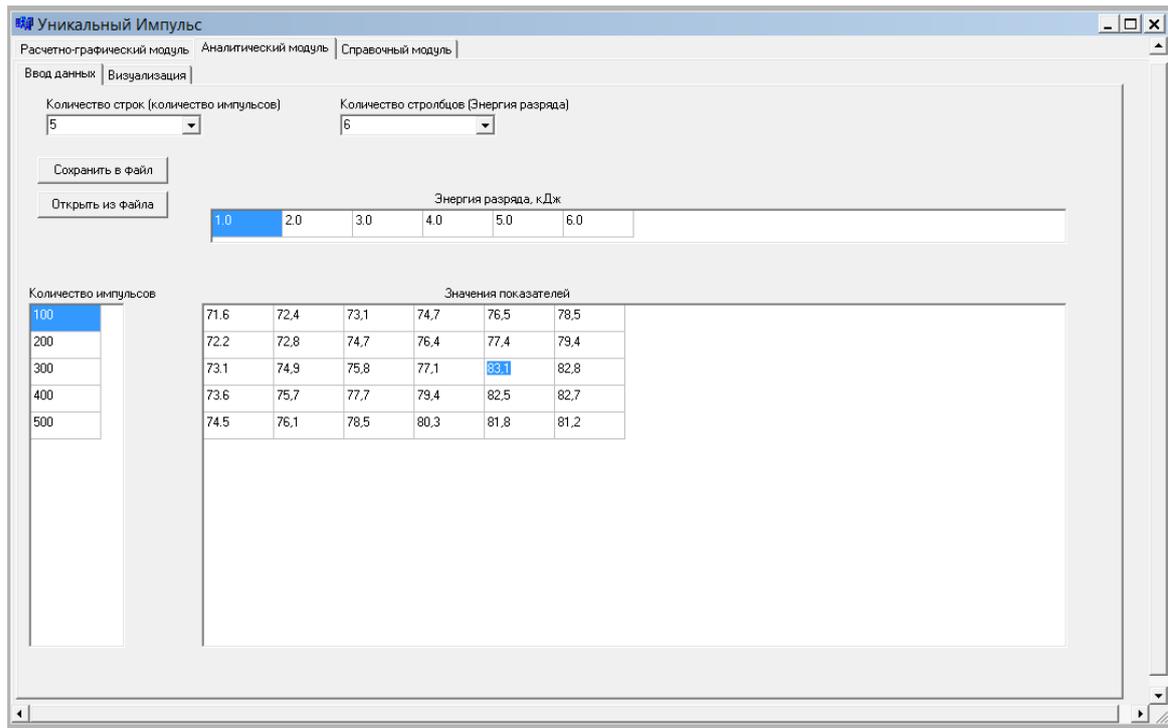


Рисунок Б2 – Ввод данных в программе «Уникальный импульс»

После ввода данных программа выводит на экран визуализированную адаптацию, по которой можно судить о наличии положительных или отрицательных трендов (рисунки Б3, Б4).

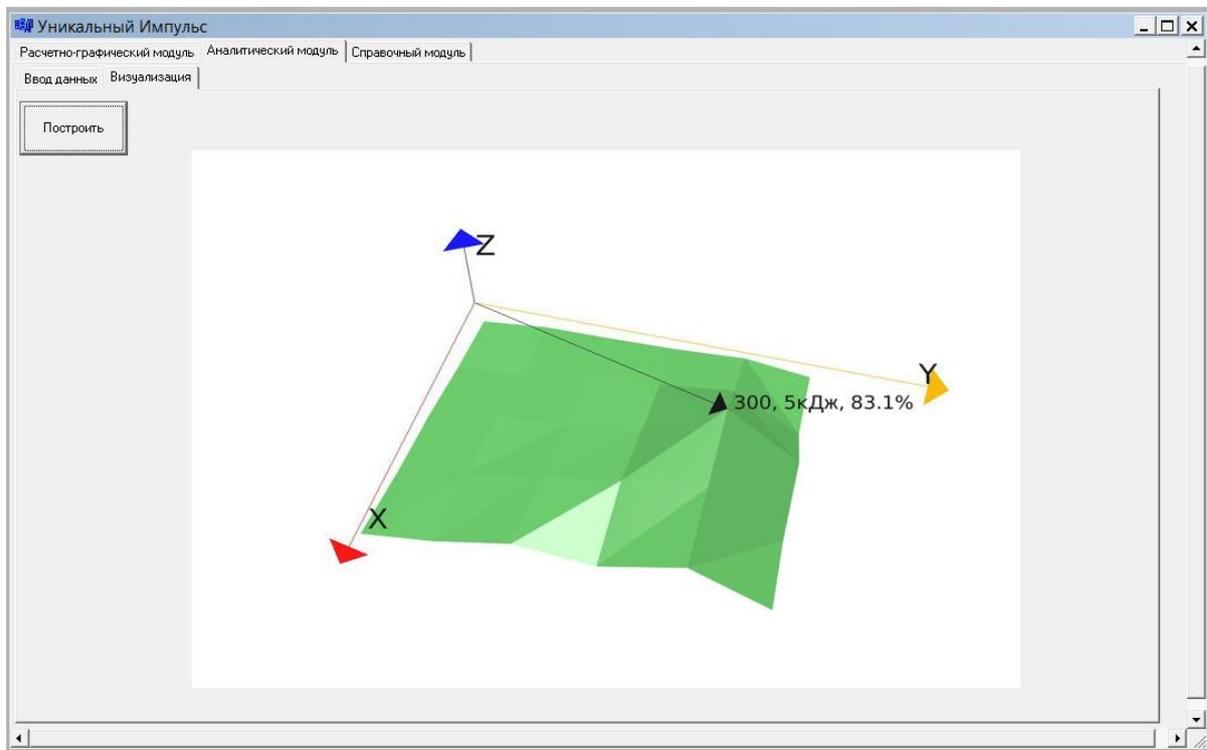


Рисунок Б3– Визуализация данных по содержанию влаги

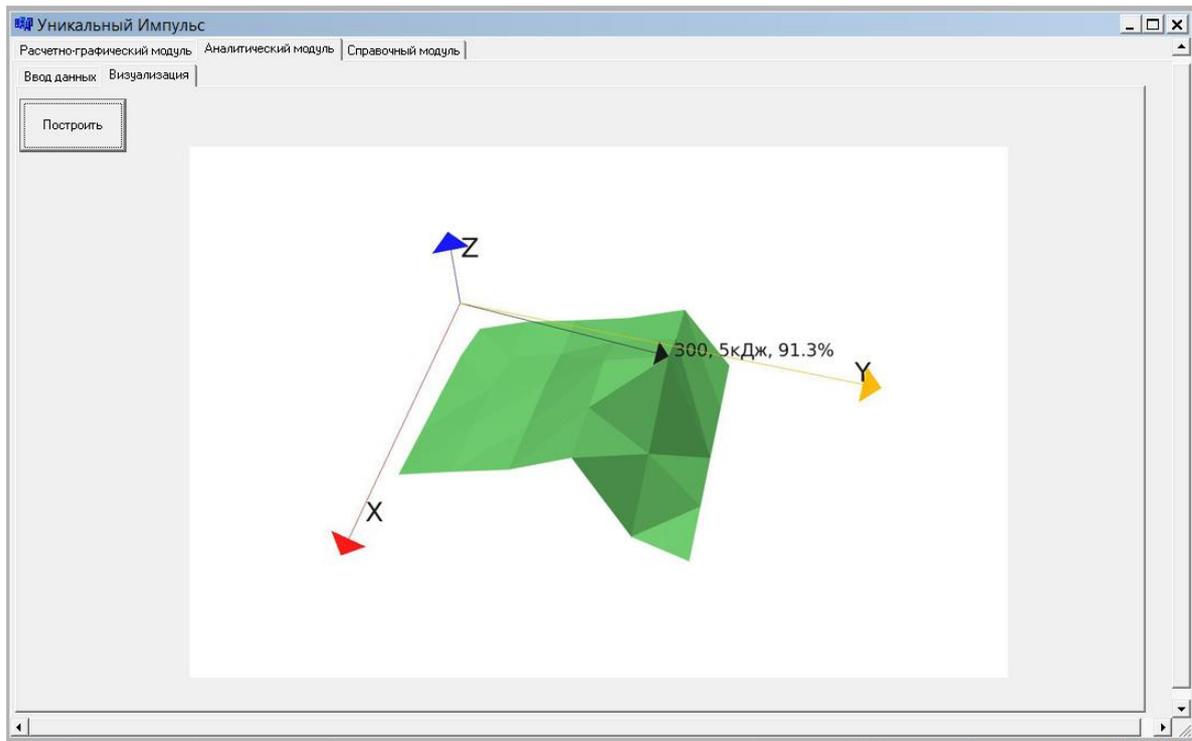


Рисунок Б4– Визуализация данных по влагосвязывающей способности

Анализ данных по содержанию влаги и влагосвязывающей способности мясного сырья показал, что наилучший результат достигается при пробое разрядов с энергией 5 кДж. При этом положительная тенденция роста исследованных показателей наблюдается в диапазоне 100-300 импульсов, тогда как значение влагосвязывающей способности сырья, как и общего содержания влаги, начинает снижаться при пробое 400 и более импульсов. В связи с этим, было принято решение провести экспериментальные исследования в модельной системе «рассол-мясо» с параметрами разряда 100 мкФ и 10 кВ (что соответствует 5 кДж). Количество импульсов было ограничено 100, 200 и 300 импульсами для получения более достоверной картины изменения основных показателей качества.

## Алгоритм обработки силовых кривых

При обработке силовых кривых, полученных в процессе силовой спектроскопии АСМ, в зависимости от вида используемого зонда пользуются моделью Герца [63], в случае использования кантилевера со сферическим зондом или моделью Снеддона [205], для кантилеверов с коническим острием угла  $\alpha$ . В нашем случае использовался кантилевер NSG01 с конусовидным зондом (угол наклона  $20^\circ$ ). Для аппроксимации силовых кривых с приемлемой точностью делаются общие допущения: модуль Юнга зонда много больше, чем образца; поверхность волокна в области контакта представляет собой плоскость либо сферу; клетка гомогенна и деформируется упруго, отсутствуют вязкость и пластичность.

Согласно модели Снеддона, сила взаимодействия зонда кантилевера с поверхностью волокна определяется как:

$$F = \frac{2}{\pi} \frac{E}{1-\vartheta^2} \delta^2 \operatorname{tg} \alpha \quad (56),$$

где  $E$  – локальный модуль Юнга;

$\vartheta$  – коэффициент Пуассона образца. При работе с животными клетками обычно принимают коэффициент Пуассона равным  $\vartheta = 0,5$  (деформация с сохранением объема);

$\delta$  – глубина проникновения зонда кантилевера;

$\alpha$  – угол наклона конуса зонда кантилевера.

Рассмотрим процесс обработки силовых кривых. Результатом силовой спектроскопии являются две кривые зависимости отклонения кантилевера от смещения пьезотрубки. Как правило, красная линия – кривая подвода кантилевера, синяя – отвода от поверхности объекта. Причем, при расчетах, преимущественно, используют кривые подвода, потому что на кривых отвода часто наблюдается адгезия кантилевера к образцу, которая не учитывается в стандартной модели [103]. Перемещение основания кантилевера от точки его

контакта с поверхностью (смещение пьезотрубки) ( $z$ ) приводит к отклонению кантилевера  $d$  (нА) и продавливанию объекта  $\delta$  (нм), т.е.  $z = d + \delta$  (рис. В1).

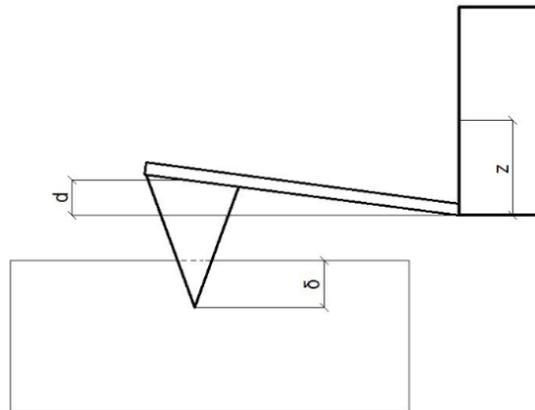


Рисунок В1– Схема проникновения зонда в образцы

Пример силовой кривой, полученной при силовой спектроскопии волокна нативного образца мышечной ткани представлен на рисунке В2.

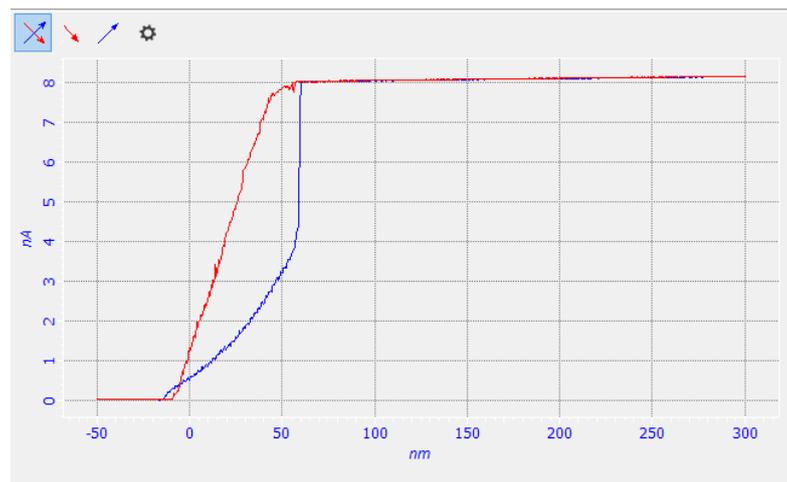


Рисунок В2– Силовые кривые, полученные при силовой спектроскопии волокна мышечной ткани интактного образца

Как видно из рис. В2, отклонение кантилевера дано в нА, тогда как смещение пьезотрубки определяется в нм. Измерение отклонения кантилевера в амперах объясняется отражением на оси ординат разности сигналов верхней и нижней секций фотодиода ( $b$ ). Для получения величины линейного отклонения кантилевера в нм определяют чувствительность оптической системы регистрации сигнала, для чего снимают силовую кривую на твердой подложке и измеряют тангенс её наклона. Тангенс наклона кривой, снятой на твердой подложке представляет собой

калибровочный коэффициент  $a$ , измеряемый в единицах нм/нА. Таким образом, значение линейного отклонения  $d$  может быть найдено произведением  $b$  (нА) и  $a$  (нм/нА).

Глубина проникновения в этом случае может быть найдена соотношением:

$$\delta = z - b \cdot a \quad (57)$$

где  $\delta$  – реальная глубина продавливания, м;

$z$  – смещение пьезотрубки, м;

$b$  – разности сигналов верхней и нижней секций фотодиода, А;

$a$  – калибровочный коэффициент, м/А;

а величина реально приложенной силы к волокну определится как:

$$F_s = b \cdot a \cdot k_c \quad (58)$$

где  $F_s$  – реальная приложенная к волокну сила, Н;

$k_c$  – коэффициент жесткости кантилевера, Н/м.

Зная силу, приложенную к волокну и глубину проникновения зонда кантилевера, можно вычислить жесткость волокна  $k_s$  (в Н/м):

$$k_s = \frac{\Delta F_s}{\Delta \delta} \quad (59)$$

где  $\Delta \delta$  – изменение глубины продавливания волокна (в м);

$\Delta F_s$  – соответствующее  $\Delta \delta$  изменение приложенной к волокну силы (в Н).

При этом упругая сила деформации кантилевера, определяемая по отклонению кантилевера от нулевого положения по закону Гука, деформирует объект и равна силе взаимодействия, определяемой из модели Снеддона [202]:

$$F = kd \quad (60)$$

$$kd = \frac{2}{\pi} \frac{E}{1-\vartheta^2} \delta^2 \operatorname{tg} \alpha \quad (61)$$

где  $k$  – коэффициент жесткости кантилевера, Н/м.

Выразим из формулы (61) модуль упругости  $E$ :

$$E = \frac{\pi kd(1-\vartheta^2)}{2\delta^2 \operatorname{tg} \alpha} \quad (62)$$

## Силловые кривые АСМ волокон исследуемых образцов

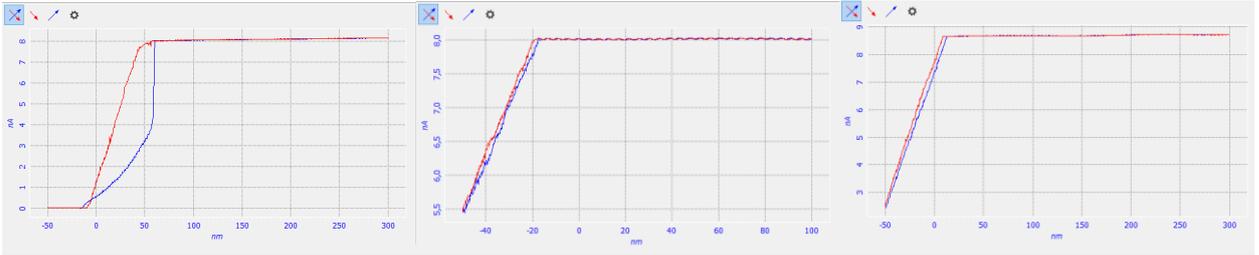


Рисунок Г1– Силловые кривые волокон мышечной ткани нативных образцов мяса

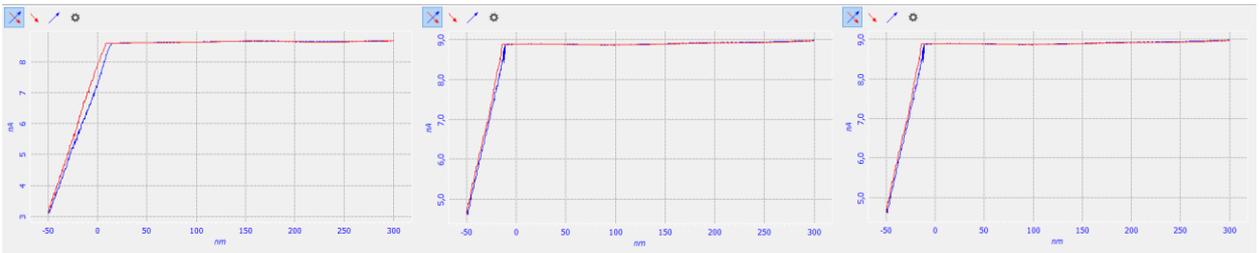


Рисунок Г2 – Силловые кривые волокон мышечной ткани контрольных образцов мяса

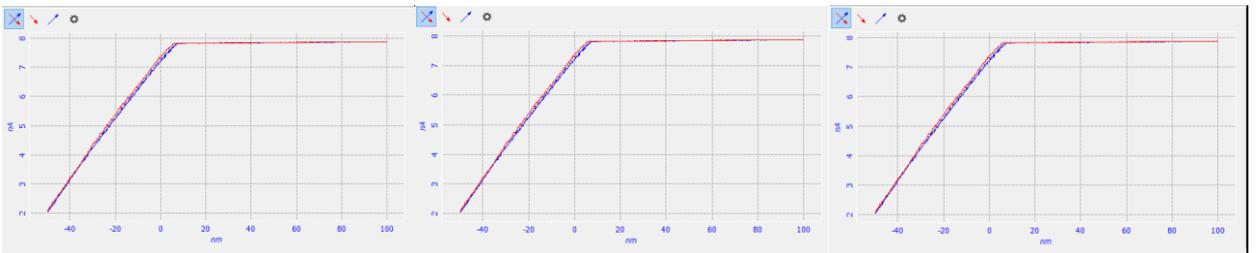


Рисунок Г3– Силловые кривые волокон мышечной ткани опытных образцов мяса, обработанных 100 импульсами

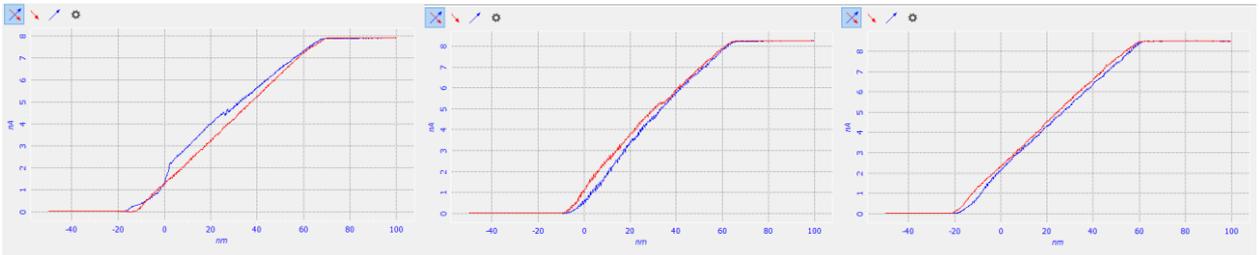


Рисунок Г4– Силловые кривые волокон мышечной ткани опытных образцов мяса, обработанных 200 импульсами

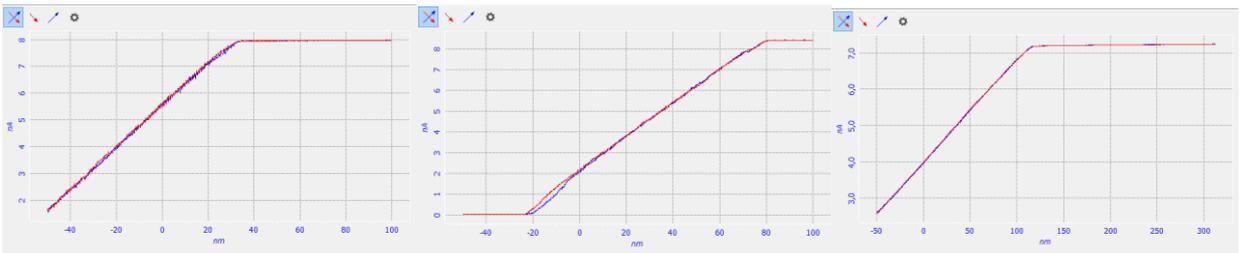


Рисунок Г5– Силловые кривые волокон мышечной ткани опытных образцов мяса, обработанных 300 импульсами

Пример расчета коэффициента жесткости и модуля упругости волокна  
по силовым кривым АСМ (нативный образец)

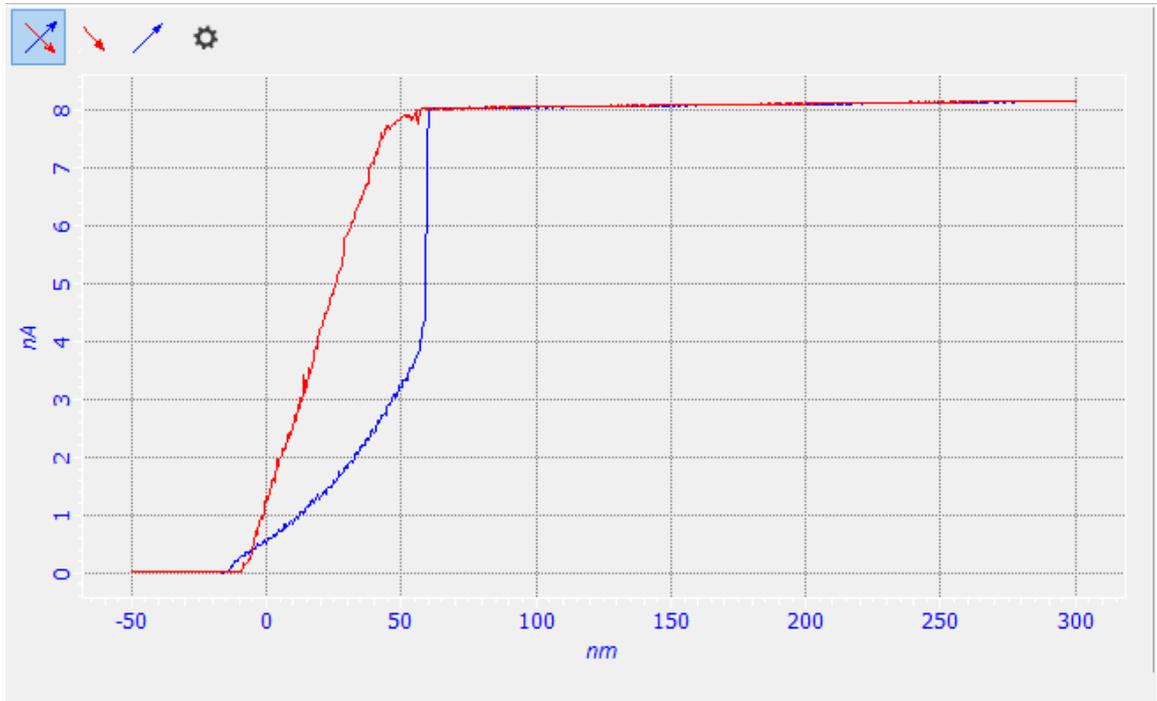


Рисунок Д1– Силовая кривая волокон мышечной ткани нативного образца мяса

1. Судя по представленной силовой кривой, значение линейного отклонения будет равным:

$$d = b \cdot a = 8 \cdot 5,75 \cdot 10^{-3} = 46 \cdot 10^{-3} \text{ нм}$$

2. Определим линейное отклонение, найдем глубину проникновения:

$$\delta = |z - d| = |67 - 46 \cdot 10^{-3}| = 66,9 \text{ нм}$$

3. В этом случае величина реально приложенной силы будет равна:

$$F_s = kd = 15,5 \cdot 46 \cdot 10^{-12} = 713 \cdot 10^{-12} \text{ Н}$$

4. Тогда жесткость волокна определится отношением:

$$k_s = \frac{\Delta F_s}{\Delta \delta_s} = \frac{713 \cdot 10^{-12}}{66,9 \cdot 10^{-9}} = 10,7 \frac{\text{пН}}{\text{нм}}$$

5. Определив основные параметры, найдем модуль упругости:

$$E = \frac{\pi k d (1 - \vartheta^2)}{2 \delta^2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{3,14 \cdot 15,5 \cdot 46 \cdot 10^{-12} (1 - 0,5^2)}{2 \cdot (66,9 \cdot 10^{-9})^2 \operatorname{tg} 20^\circ} = \frac{1679,1 \cdot 10^{-12}}{3257,9 \cdot 10^{-18}} = 51,5 \text{ кПа}$$

## Режим обработки высоким гидростатическим давлением

При обработке мясного сырья высоким гидростатическим давлением, в программном обеспечении устанавливалось максимальное давление, длительность, а также скорость возрастания и уменьшения давления. Как видно из представленного на рисунке Д1 графика, давление в рабочей камере поднималось до 400 МПа за 60 секунд. Установленное давление выдерживалось в течение 180 секунд и также снижалось нулевой точки за 60 секунд.

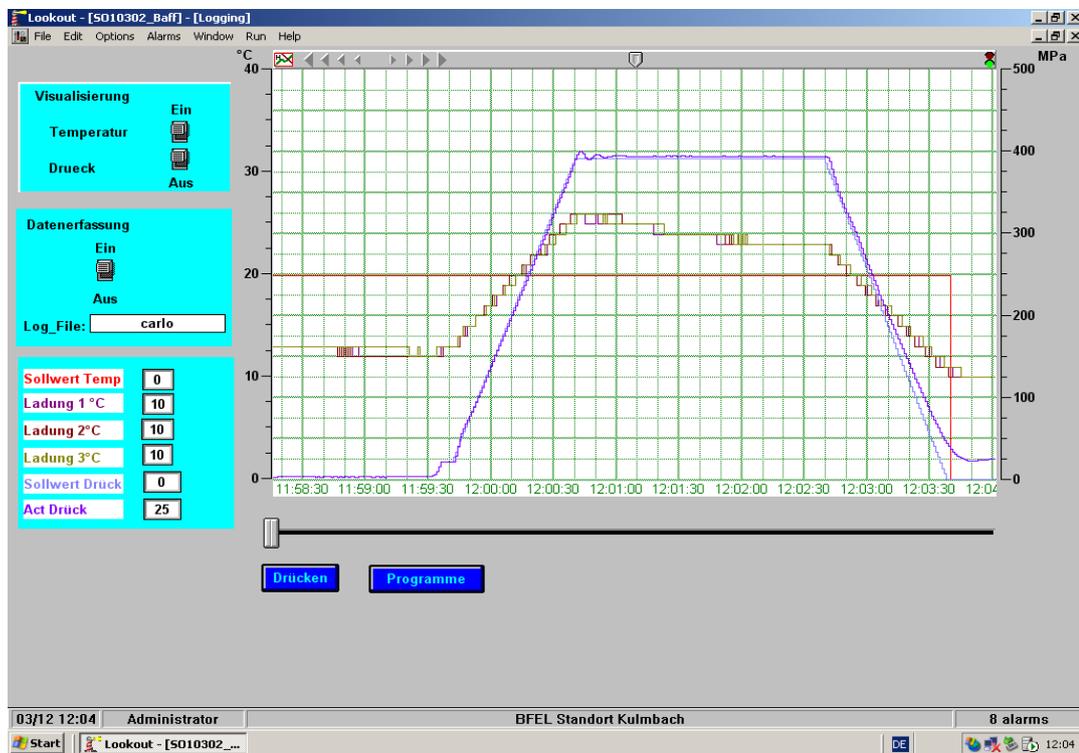


Рисунок Е1– График режима обработки образцов ВГД

## Расчетные характеристики цвета:

Таблица Ж.1 – характеристики цвета контрольного образца

Obs	Illuminant	X	Y	Z	x	y	L	a	b	C(ab)	H(ab)
2-Degree	A	0,5622	0,4764	0,1139	0,4878	0,4134	74,60	19,38	9,47	21,57	63,95
	B	0,4747	0,4629	0,2581	0,3970	0,3872	73,74	20,41	4,46	20,89	77,67
	C	0,4515	0,4580	0,3499	0,3585	0,3637	73,42	20,84	0,69	20,85	88,10
	D	0,4625	0,4621	0,2527	0,3929	0,3925	73,68	19,76	4,87	20,35	76,15
	E	0,4710	0,4620	0,2921	0,3845	0,3771	73,67	21,88	2,53	22,03	83,41
	F2	0,4679	0,4600	0,1663	0,4276	0,4204	73,54	20,79	3,75	21,13	79,78
	F7	0,4404	0,4576	0,2923	0,3700	0,3844	73,39	20,12	2,07	20,22	84,12
	F11	0,5161	0,4689	0,1543	0,4530	0,4116	74,12	21,57	8,52	23,19	68,44
	Blackbody	0,4681	0,4625	0,2571	0,3941	0,3894	73,71	21,02	4,01	21,40	79,21
	Custom	0,5088	0,4699	0,2024	0,4308	0,3978	74,18	19,09	7,71	20,59	68,00
10-Degree	A	0,5626	0,4747	0,1085	0,4910	0,4143	74,49	20,92	8,44	22,56	68,02
	B	0,4689	0,4588	0,2463	0,3994	0,3908	73,47	21,56	3,85	21,91	79,87
	C	0,4415	0,4525	0,3320	0,3601	0,3691	73,06	21,79	0,37	21,79	89,04
	D	0,4579	0,4582	0,2407	0,3958	0,3961	73,43	20,95	4,21	21,37	78,65
	E	0,4638	0,4571	0,2809	0,3860	0,3803	73,36	23,08	1,89	23,16	85,32
	F2	0,4824	0,4576	0,1635	0,4372	0,4147	73,39	22,02	3,25	22,25	81,60
	F7	0,4373	0,4532	0,2783	0,3741	0,3877	73,10	21,11	1,73	21,18	85,32
	F11	0,5238	0,4670	0,1517	0,4585	0,4088	74,00	22,63	7,67	23,89	71,28
	Blackbody	0,4634	0,4583	0,2465	0,3967	0,3923	73,43	22,28	3,32	22,53	81,53
	Custom	0,5003	0,4666	0,1899	0,4325	0,4034	73,97	20,05	7,11	21,27	70,47

Таблица Ж.2 – характеристики цвета опытного образца

Obs	Illuminant	X	Y	Z	x	y	L	a	b	C(ab)	H(ab)
2-Degree	A	0,2993	0,2322	0,0448	0,5194	0,4029	55,29	22,70	16,86	28,27	53,39
	B	0,2433	0,2187	0,0996	0,4332	0,3894	53,89	22,71	11,85	25,62	62,44
	C	0,2268	0,2140	0,1342	0,3945	0,3722	53,39	22,77	7,86	24,09	70,95
	D	0,2370	0,2179	0,0979	0,4287	0,3942	53,80	22,04	12,34	25,26	60,77
	E	0,2402	0,2179	0,1119	0,4215	0,3823	53,81	23,97	9,95	25,95	67,45
	F2	0,2324	0,2146	0,0638	0,4550	0,4201	53,45	22,67	9,29	24,50	67,72
	F7	0,2205	0,2131	0,1124	0,4038	0,3903	53,29	22,00	8,92	23,74	67,93
	F11	0,2723	0,2262	0,0590	0,4884	0,4058	54,68	24,76	16,09	29,52	56,98
	Blackbody	0,2395	0,2183	0,0990	0,4301	0,3920	53,84	23,18	11,42	25,85	63,77
	Custom	0,3041	0,2345	0,0664	0,5026	0,3876	55,53	22,97	16,90	28,52	53,65
10-Degree	A	0,2964	0,2308	0,0421	0,5206	0,4054	55,16	24,12	15,11	28,46	57,93
	B	0,2377	0,2158	0,0941	0,4341	0,3941	53,58	23,68	10,65	25,97	65,79
	C	0,2194	0,2102	0,1260	0,3949	0,3783	52,97	23,53	7,03	24,56	73,36
	D	0,2320	0,2151	0,0922	0,4301	0,3988	53,50	23,06	11,06	25,58	64,37
	E	0,2339	0,2145	0,1063	0,4216	0,3867	53,44	24,97	8,75	26,46	70,70
	F2	0,2376	0,2132	0,0621	0,4634	0,4156	53,29	23,81	8,19	25,18	71,02
	F7	0,2166	0,2101	0,1060	0,4066	0,3944	52,96	22,84	8,02	24,21	70,66
	F11	0,2739	0,2251	0,0575	0,4923	0,4045	54,56	25,75	14,57	29,59	60,50
	Blackbody	0,2345	0,2153	0,0938	0,4313	0,3961	53,53	24,26	10,14	26,30	67,33
	Custom	0,2944	0,2321	0,0614	0,5009	0,3948	55,28	23,52	15,84	28,36	56,04

где **X,Y,Z** – координаты цветности; **x,y** – координаты цвета; **L** – светлость; **a** – величина красной/зеленой составляющей; **b** – величина синей/желтой составляющей; **C(ab)** – насыщенность цвета; **H(ab)** – тон цвета.

## Расчет эрозии металлов ЭС

Масса металла, мигрирующего с электрода за один электрический разряд, согласно представленным в [79] данным, может быть описана следующей зависимостью:

$$m = \frac{k_d U_\alpha}{\frac{3c(T_{\text{пл}} - T_0) - r_{\text{пл}}}{k_p} + r_{\text{исп}}} \quad (63)$$

где  $k_d$  – коэффициент, учитывающий влияние диаметра токопроводящего стержня на эрозию,

$k_p$  – коэффициент выброса металла за разряд,

$U_\alpha$  – эквивалентный энергетический потенциал,

$\alpha$  – интеграл от модуля разрядного тока,

$c$  – удельная теплоемкость материала ЭС,

$T_{\text{пл}}$  – температура плавления металла,

$T_0$  – начальная температура металла,

$r_{\text{пл}}$  – удельная теплота плавления металла,

$r_{\text{исп}}$  – удельная теплота испарения металла.

Таким образом, интенсивность эрозии металлов зависит от электрических параметров, количества разрядов, природы и конструкции электродной системы.

Как указано в Приложении А, в качестве электродной системы в ГИТ-6 используется излучатель №63, представляющий собой коаксиальную систему. Диаметр положительного электрода (сплошного медного стержня) составляет 10 мм. Диаметр отрицательного электрода (латунной полый трубы с толщиной стенки 3 мм) равен 63 мм.

В справочной литературе отсутствует информация об удельной теплоте плавления и испарения латуни, что объясняется большим различием теплофизических свойств входящих в латунь металлов. В связи с этим, при

расчете эрозии ЭС в процессе РИО, принята во внимание миграция каждого металла по отдельности.

Теплофизические свойства металлов ЭС взяты из справочника Зиновьева В.Е. [68] и представлены в таблице К1.

Таблица И1 – теплофизические свойства металлов ЭС

Металл	$c$ , Дж/кг	$T_{пл}$ , К	$r_{пл}$ , кДж/кг	$r_{исп}$ , кДж/кг
Cu	390	1357	214	5410
Zn	380	692	112,2	1755
Fe	450	1811	293	6300
Al	880	933	360	9220

Начальная температура всех металлов равняется температуре рассола, т.е.  $T_0 = 281$  К.

При подводных искровых разрядах энергией до 10 кДж значение эквивалентного потенциала частиц плазмы, взаимодействующих с электродом, эквивалентный энергетический потенциал  $U_9$  находится в диапазоне от 17 В до 20 В [16]. При колебательном разряде с малым декрементом затухания без значительной погрешности можно принять как для анода, так и для катода  $U_9 = 18,5$  В.

Интеграл от модуля разрядного тока можно определить выражением [85]

$$\alpha = Q \frac{\sqrt{\Delta}-1}{\sqrt{\Delta}+1}, \quad (64)$$

где  $Q$  – заряд, Кл;

$$Q = C * U, \quad (65)$$

$\Delta$  – декремент затухания импульсов.

$$\Delta = e^{\left(\frac{R}{2L} * \frac{2\pi}{\omega * \sqrt{1-\gamma^2}}\right)}, \quad (66)$$

где  $R$  – сопротивление, Ом;

$L$  – индуктивность, Гн;

$\omega$  – угловая частота колебаний, Гц

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C * L}}, \quad (67)$$

$\gamma$  – параметр разряда

$$\gamma = \frac{R}{2} * \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad (68)$$

Вычислив величину заряда (65) и значение декремента затухания импульсов (66), предварительно рассчитав угловую частоту колебаний тока (67) и параметр разряда  $\gamma$  (68), можно получить значение  $\alpha$ :

$$\alpha = 1 * \frac{\sqrt{2,46}-1}{\sqrt{2,46+1}} = 0,22 \text{ А}\cdot\text{с}.$$

Коэффициент выброса различных металлов за один разряд был рассчитан украинскими учеными Мазуровским Б.Я. и Сизевым А.Н. [85]. При емкости конденсатора 100 мкФ и напряжении 10 кВ  $k_p$  для Cu равен 0,065, для Zn – 0,3, для Fe – 0,085, для Al – 0,2.

Коэффициент, учитывающий влияние диаметра токопроводящего стержня на эрозию, определялся эмпирически на базе ЗАО «РИТА» (г. Москва) в ходе стажировки в 2012 году. В процессе испытаний, проводимых под руководством главного инженера Лукьянченко П.П., было выявлено, что положительный электрод укорачивается на 1 мм при пробое 1600 импульсных разрядов. Для укорачивания отрицательного электрода понадобилось на 700 импульсов больше. Таким образом, за 1600 импульсов медный стержень теряет  $3,14 * 5^2 * 1 = 78,5 \text{ мм}^3$ , а латунная труба сокращается на  $3,14 * ((63/2)^2 - (57/2)^2) * 1 = 565,2 \text{ мм}^3$  за 2300 импульсов. Следовательно, разряд в 5 кДж сопровождается уменьшением объема положительного электрода на  $0,049 \text{ мм}^3$  и отрицательного на  $0,24 \text{ мм}^3$ . Большие потери отрицательного электрода объясняются значениями  $k_p$ , согласно которым медь является наиболее стойким к эрозии металлом ЭС.

Масса меди, выделяющаяся из положительного электрода за один разряд, будет равна:

$$m = \frac{0,049 * 18,5 * 0,22}{\frac{3 * 390(1357 - 281) - 214 * 10^3}{0,065} + 5410 * 10^3} = \frac{0,199}{21485692} = 9,26 * 10^{-9} \text{ кг}$$

При 300 импульсах масса выделившейся меди составит  $9,26 * 10^{-9} * 300 = 2,78 * 10^{-6}$  кг, или 2,78 мг. Так как объем рассола в рабочей емкости составлял 30 л, концентрация выделившейся меди получается равной 0,092 мг/л.

В свою очередь масса меди, выделяющейся из отрицательного электрода в рассол при том же разряде будет равна

$$m = \frac{0,24 * 18,5 * 0,22}{\frac{3 * 390(1357 - 281) - 214 * 10^3}{0,065} + 5410 * 10^3} = \frac{0,977}{21485692} = 4,54 * 10^{-8} \text{ кг}$$

Учитывая, что латунь марки ЛАЖМц66-6-3-2 состоит из меди на 66%, действительное значение миграции Cu с отрицательного электрода за один разряд равно  $4,54 * 10^{-8} * 0,66 = 3 * 10^{-8}$ .

При 300 импульсах масса выделившейся меди составит  $3 * 10^{-8} * 300 = 9 * 10^{-6}$ , или 9 мг. Концентрация меди в рассоле изменится на 0,3 мг/л.

Общая эрозия меди из электродной системы, согласно расчетным данным, приведет к изменению концентрации меди в рассоле на 0,392 мг.

Масса мигрирующего из отрицательного электрода железа составит

$$m = \frac{0,24 * 18,5 * 0,22}{\frac{3 * 450(1811 - 281) - 293 * 10^3}{0,085} + 6300 * 10^3} = \frac{0,977}{27152941,2} = 3,59 * 10^{-8} \text{ кг}$$

При 300 импульсах масса выделившегося железа составит  $3,59 * 10^{-8} * 300 = 1,08 * 10^{-5}$  кг или 10,8 мг. Однако, латунь марки ЛАЖМц66-6-3-2 содержит только 3% Fe, следовательно действительная масса выделяющегося железа за один разряд составит  $10,8 * 0,03 = 0,324$  г, а концентрация в рассоле изменится на  $0,324 / 30 = 0,01$  мг.

Масса мигрирующего из отрицательного электрода цинка составит

$$m = \frac{0,24 * 18,5 * 0,22}{\frac{3 * 380(692 - 281) - 112,2 * 10^3}{0,3} + 1755 * 10^3} = \frac{0,977}{2942800} = 3,32 * 10^{-7} \text{ кг}$$

Так как в латуни марки ЛАЖМц66-6-3-2 содержание цинка составляет 23%, действительная масса выделяющегося цинка будет равна

$3,32 * 10^{-7} * 0,23 = 0,76 * 10^{-7}$  кг или 0,076 мг. Тогда при 300 импульсах выделится  $0,076 * 300 = 22,8$  мг, а концентрация в рассоле изменится на  $22,8/30 = 0,76$  мг/л.

Масса выделяющегося при разряде алюминия определится как:

$$m = \frac{0,24 * 18,5 * 0,22}{\frac{3 * 880(933 - 281) - 360 * 10^3}{0,2} + 9220 * 10^3} = \frac{0,977}{16026400} = 6,24 * 10^{-8} \text{ кг}$$

Исходя из процентного содержания алюминия в латуни марки ЛАЖМц66-6-3-2 (6%), действительная масса выделяющегося из отрицательного электрода Al составит  $6,24 * 10^{-8} * 0,06 = 0,37 * 10^{-8}$  кг или  $0,37 * 10^{-2}$  мг. После 300 импульсов концентрация Al в рассоле увеличится на  $0,37 * 10^{-2} * 300/30 = 0,037$  мг/л.

## Протокол исследования содержания металлов в образцах рассолов

### АККРЕДИТОВАННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ЦЕНТР

### ФБУЗ «ЦЕНТР ГИГИЕНЫ И ЭПИДЕМИОЛОГИИ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ»

### САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Наименование пробы (образца):	<u>Рассол</u>
2. Дата доставки пробы (образца):	<u>01.12.14г.</u>
3. Дата и время окончания исследований:	<u>05.12.14г.</u>
4. Код пробы (образца):	<u>23298 - 23299.01.12.14 ( Зпл)</u>
5. Регистрационный номер в журнале	<u>1182 - 1183</u>

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

распространяются на образец, подвергнутый испытанию

№ п/п	Определяемые показатели Единицы измерения (для граф 3,4)	Результаты исследований и допустимая погрешность измерения	Гигиенический норматив	НД, регламентирующая объем исследований и их оценку	НД на методы исследований
1	2	3	4	5	6
<b>САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ</b>					
Проба: №1182		Код пробы: 23298.01.12.14 ( Зпл)		Наименование пробы: <i>контрольный образец</i>	
1.	Железо общее, мг/ дм <sup>3</sup>	0.49±0.2	-	СанПиН 2.1.7.573 - 96	ПНД Ф 14.1:2.4.50 - 96
2.	Медь, мг/ дм <sup>3</sup>	<0.01	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.139 - 98
3.	Цинк, мг/ дм <sup>3</sup>	<0.01	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.139 - 98
4.	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	7870±78.7	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.114 - 97
5.	Алюминий, мг/ дм <sup>3</sup>	0.04±0.02	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.93 - 97

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

распространяются на образец, подвергнутый испытанию

№ п/п	Определяемые показатели Единицы измерения (для граф 3,4)	Результаты исследований и допустимая погрешность измерения	Гигиенический норматив	НД, регламентирующая объем исследований и их оценку	НД на методы исследований
<b>САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ</b>					
Проба: №1183		Код пробы: 23299.01.12.14 ( Зпл)		Наименование пробы: <i>опытный образец</i>	
1.	Железо общее, мг/ дм <sup>3</sup>	0,54±0,04	-	СанПиН 2.1.7.573 - 96	ПНД Ф 14.1:2.4.50 - 96
2.	Медь, мг/ дм <sup>3</sup>	0,43±0,02	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.139 - 98
3.	Цинк, мг/ дм <sup>3</sup>	0,69±0,04	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.139 - 98
4.	Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	8470±84,7	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.114 - 97
5.	Алюминий, мг/ дм <sup>3</sup>	0,09±0,02	-	-	ПНД Ф 14.1:2.4.93 - 97

Испытания проводили:

Должность	Ф.И.О.	Подпись
Химик - эксперт	Холодная М.А.	
Фельдшер - лаборант	Сиденко Е.А.	
Фельдшер - лаборант	Галигузова Н.В.	

Зав. лабораторией

Рошупка Г.П.  
Ф.И.О.

Подпись

Общее количество страниц \_\_\_\_\_ Страница \_\_\_\_\_

**Протокол исследования содержания металлов в контрольном и опытном образцах готового продукта**

**АККРЕДИТОВАННЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ЦЕНТР  
ФБУЗ «ЦЕНТР ГИГИЕНЫ И ЭПИДЕМИОЛОГИИ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ»**

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Код образца (пробы) 23660.01.12.14 (ЗП)

1. Регистрационный номер в журнале № 826
2. Наименование пробы (образца), кол-во Мясо копченое говядина, 2 образца
3. Дата и время доставки пробы (образца) 08.12.14г.
4. Дата и время окончания исследований 12.12.14г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ** распространяются на образец "К", подвергнутый испытанию.

№ п/п	Определяемые показатели, единицы измерения (для граф 3,4)	Результаты исследований и допустимая погрешность измерения	Гигиенический норматив	НД на методы исследований	НД, регламентирующий объем исследований и их оценку
1	2	3	4	5	6
<b>САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>					
1	Железо, мг/кг	3,93±0,03		ГОСТ 26928-86	
2	Медь, мг/кг	0,24±0,03		ГОСТ 26928-86	
3	Цинк, мг/кг	0,21±0,03		ГОСТ 26928-86	
4	Алюминий, мг/кг	0,02±0,01		ГОСТ 26928-86	

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ** распространяются на образец "О", подвергнутый испытанию.

№ п/п	Определяемые показатели, единицы измерения (для граф 3,4)	Результаты исследований и допустимая погрешность измерения	Гигиенический норматив	НД на методы исследований	НД, регламентирующий объем исследований и их оценку
1	2	3	4	5	6
<b>САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>					
1	Железо, мг/кг	3,95±0,04		ГОСТ 26928-86	
2	Медь, мг/кг	0,79±0,03		ГОСТ 26982-86	
3	Цинк, мг/кг	0,59±0,03		ГОСТ 26982-86	
4	Алюминий, мг/кг	0,07±0,02		ГОСТ 26982-86	

Исследования проводили

врач - лаборант  
должность

  
подпись

Э.А.Караклиева  
инициалы, фамилия

фельдшер-лаборант  
должность

  
подпись

Г.П.Манаенко  
инициалы, фамилия

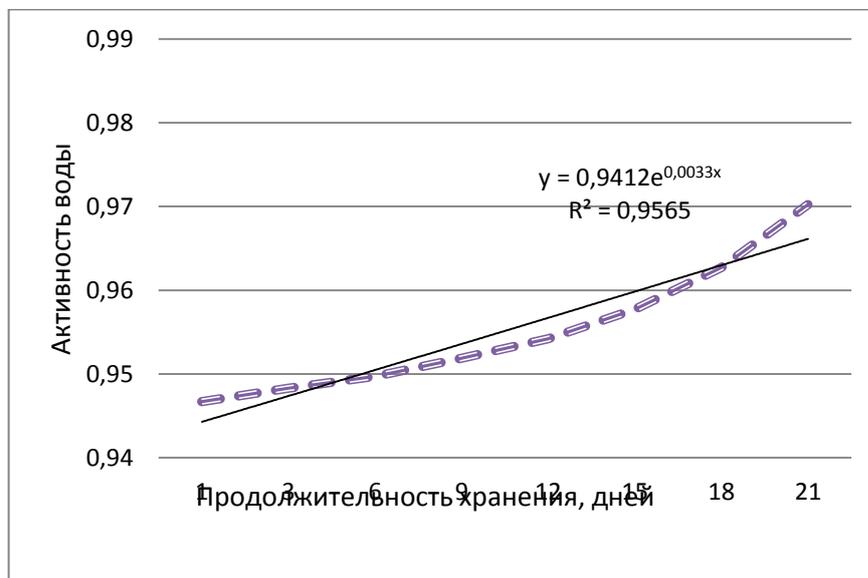
Заведующий лабораторией

  
подпись

Г.П. Рошупка.  
инициалы, фамилия

## Приложение М

## Экспоненциальная регрессия динамики изменения активности воды в контрольном и опытных образцах продукта

Рисунок М.1 – Динамика изменения  $A_w$  контрольного образцаРисунок М.2 – Динамика изменения  $A_w$  опытного образца

## Экспоненциальная регрессия роста КМАФАнМ образцов в процессе хранения

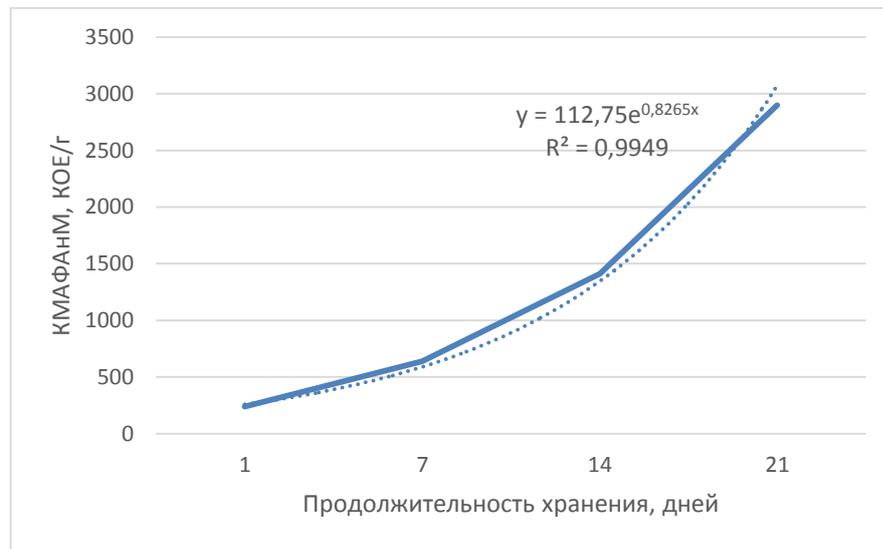


Рисунок Н.1– Экспоненциальная регрессия КМАФАнМ контрольного образца

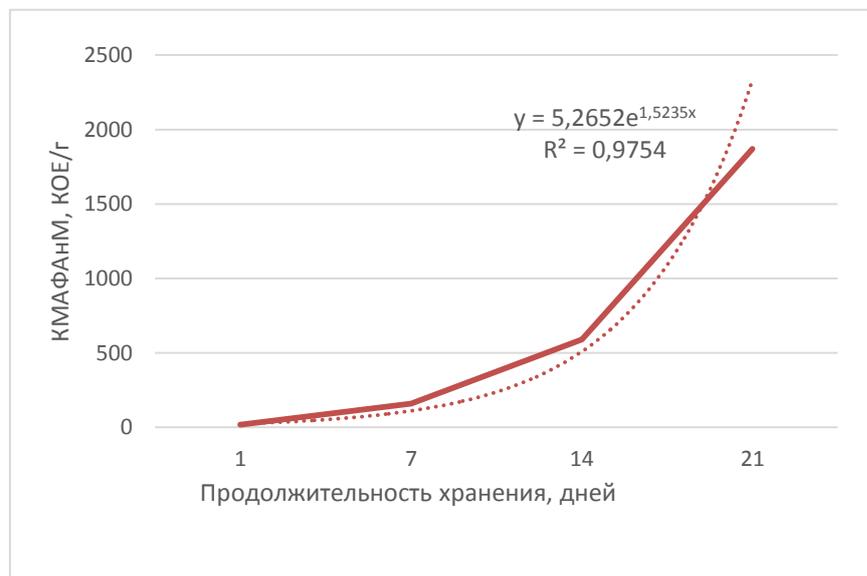


Рисунок Н.2 – Экспоненциальная регрессия КМАФАнМ опытного образца



УТВЕРЖДАЮ

Директор мясоперерабатывающего  
предприятия ИП Поляков А.Н.

Поляков А.Н.

2014г

АКТ  
производственной выработки

Мы, нижеподписавшаяся комиссия в составе: директора мясоперерабатывающего предприятия А.Н. Полякова, к.т.н., доцента СКФУ, Н. П. Оботуровой, ассистента кафедры ТМиК А.А. Нагдаляна, магистра А.И. Никульникова студентов кафедры ТМиК А.Е. Богоровского и К.А. Камова, составили настоящий акт о том, что в период с 6 декабря 2014 г. по 14 января 2015 г. в производственных условиях мясоперерабатывающего предприятия ИП Поляков А.Н. проведен цикл производственных испытаний и осуществлена выработка контрольного и опытных образцов изделий из говядины варено-копченых. Условия проведения эксперимента представлены на рисунке 1.

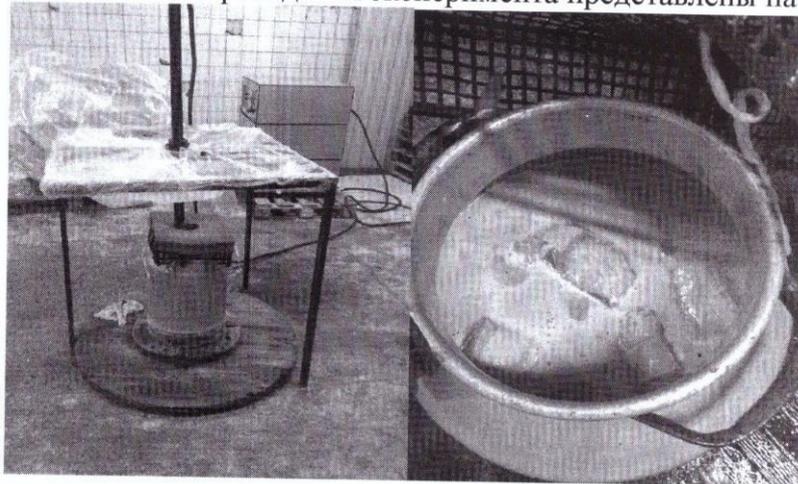


Рисунок 1 – Тара с рабочей жидкостью

Технологический процесс производства заключался в следующем:  
 Мясное сырье принимается в парном, охлажденном, либо в замороженном состоянии в виде полутуш или отруба – заднего окорока.  
 Рассол готовится в никелированной таре посредством перемешивания компонентов в воде.  
 Разрядно-импульсная обработка проводится на оборудовании Генератор импульсов тока (ГИТ). Режимы обработки:  
 Объем конденсаторов – 100 микрофарад  
 Напряжение – 10 киловольт  
 Уровень запасаемой энергии – 5 килоджоулей  
 Количество импульсов: 100,200,300  
 Выдержка обработанного сырья в рассоле с тем же компонентным составом проводится в течение 48 часов, после чего вымывается водой и подпетливается шпагатом.

Термическая обработка происходит в 2 стадии – варки и копчения в универсальной термокамере. Процесс варки занимает 120-180 минут при температуре пара 75-85 градусов до достижения в центре куска температуры 72 градуса. Копчение проводится в 2 подэтапа – при температуре 85-90 градусов (1-2 часа) и 55-60 градусов (2-3 часа)

После термической обработки готовый продукт охлаждают в камере при температуре 0-6 градусов до достижения температуры в центре продукта 6 градусов. После контроля качества готовый продукт упаковывается в полиэтиленовую пленку и подается на реализацию.

По органолептическим продукты варено-копченые соответствовали требованиям, указанным в таблице 1

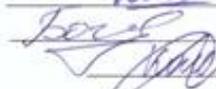
Таблица 1

Наименование показателя	Характеристики и нормы для варено-копченых продуктов из говядины «Уникум» и контрольного образца
Внешний вид	Поверхность чистая, сухая, с наличием специй, края ровные без бахромок, допускается наличие следов от решетки на поверхности
Форма	Прямоугольная, овальная слегка вытянутая, или иная другая, толщиной от 1,5 - 2,0 мм
Консистенция	Нежная, сочная
Цвет и вид на разрезе	Мышечная ткань красно-коричневого цвета, с различными оттенками, допускаются прослойки межмышечного жира
Вкус и запах	Вкус приятный, солоноватый, без постороннего привкуса и запаха, с ароматом специй

Выход варено-копченых продуктов из говядины составил: контроль – 85,9%, опытный №1 – 96,4%, опытный №2 – 97,5%, опытный №3 – 108,2%.

На основании органолептической оценки контрольного и опытных образцов, проведенной настоящей комиссией получены следующие её значения:

Наименование образца	Внешний вид	Цвет	Запах	Консистенция	Вкус	Сочность	Общая оценка
Контроль	4,0	4,3	4,0	3,8	4,0	3,9	4,0
Опыт №1	4,5	4,6	4,8	4,3	4,3	4,4	4,48
Опыт №2	4,8	5,0	4,4	4,4	5,0	4,8	4,73
Опыт №3	4,9	4,9	4,7	4,6	4,7	4,8	4,78

  
 А.Н. Поляков  
  
 Н.П. Оботурова  
  
 А.А. Нагдалян  
  
 А.И. Никульников  
  
 А.Е. Богоровский  
  
 К.А. Камова

**Акт**  
**Производственных испытаний разрядно-импульсной технологии**  
**посола мясного сырья**

Мы, нижеподписавшиеся представители ЗАО «Комбинат пищевой «Хороший вкус» (г. Екатеринбург), главный технолог Керимова Наталья Сергеевна, начальник цеха Лаптев Иван Валентинович, начальник лаборатории Оленева Татьяна Никитична, подтверждаем проведение производственных испытаний разрядно-импульсной технологии посола цельномышечного сырья, осуществленный с помощью установки ГИТ-6, и производства окорока говяжьего варено-копченого.

Говяжье сырье выделялось из тазобедренной части охлажденной говядины. Состав рассола: 7% NaCl, 1,5% C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>, 0,0015% NaNO<sub>2</sub> (в составе нитритной соли). Режимы разрядно-импульсной обработки: напряжение – 10 кВ, емкость конденсаторных батарей – 100 мкФ, количество импульсов – 100, 200, 300 имп., в связи с чем была осуществлена вариация объектов испытаний на 3 опытных образца и 1 контрольный (мокрый посол в подобном рассоле). Далее осуществлялась 24 часовая выдержка на созревание сырья в рассоле при 0-4°C. Тепловая обработка проводилась по нормированным режимам до достижения в центре продукта температуры 72 ±1 °С. Охлаждалась готовая продукция до 8 ±1 °С.

Готовые контрольные и опытные образцы были представлены для дегустации членам дегустационной комиссии. Изделия, выработанные по предлагаемой технологии, отличались от контрольных более выраженным цветом, нежной консистенцией и вкусо-ароматическими показателями. Выход опытных образцов после термообработки так же был выше, чем данный показатель контрольных образцов и достигал 105-106% (при обработке 300 импульсами).

Главный технолог  Н.С. Керимова

Начальник лаборатории  Т.Н. Оленева

Начальник цеха  И.В. Лаптев



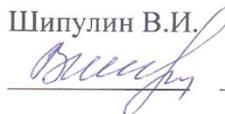
г Екатеринбург  
 16 марта 2015 г

## Дегустационный Акт

УТВЕРЖДАЮ

зав. кафедрой ТМиК СКФУ

Шипулин В.И.

 2015 г

## Дегустационный Акт

Мы, нижеподписавшиеся сотрудники кафедры технологии мяса и консервирования ФГАОУ ВПО СКФУ: к.т.н., профессор Куликов Ю.И., к.т.н., доцент Оботурова Н.П., к.т.н., доцент Судакова Н.В., к.т.н., доцент Марченко В.В., к.т.н. Кравченко Н.В., ассистент Нагдалян А.А. и аспирант Смолко Е.В., подтверждаем, что 21 сентября 2015 года была проведена органолептическая оценка варено-копченого продукта из говядины, изготовленного с применением разрядно-импульсной обработки охлажденного мясного сырья в процессе посола. Опытные образцы подвергались обработке 100, 200 и 300 импульсами в рассоле с 4% содержанием поваренной соли, 3% содержанием нитритной соли и 1,5% - сахара. После обработки образцы выдерживались в рассоле в течение суток. Для проведения сравнительной оценки был изготовлен контрольный образец, который также выдерживался в течение 24 часов в стандартном рассоле.

Термическая обработка контрольного и опытных образцов проводилась при одинаковых условиях (подсушка ( $t=90-110^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=15-20$  мин), варка ( $t=85-90^{\circ}\text{C}$ , до  $t_{\text{кип}}=72-73^{\circ}\text{C}$ ), копчение ( $t=35-50^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=3-3,5$  ч)).

Органолептическая оценка представленных продуктов осуществлялась по 5 бальной системе. Оцениваемые показатели: внешний вид, цвет, запах, консистенция и вкус.

При обработке дегустационных листов были вычислены средние баллы по каждому показателю контрольного и опытных образцов. Результаты органолептической оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты органолептической оценки варено-копченых продуктов из говядины

Образец	Внешний вид	Цвет	Запах	Консистенция	Вкус	Средний балл
Контрольный	4,0	4,25	3,75	3,9	4,2	4,02
Опытный №1	4,5	4,625	4,875	4,25	4,5	4,55
Опытный №2	4,75	4,875	4,375	4,625	5,0	4,725
Опытный №3	4,875	4,75	4,625	4,625	5,0	4,775

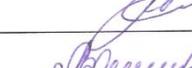
По результатам органолептической оценки членами дегустационной комиссии отмечено, что лучший внешний вид был у опытных образцов №2 и №3. Наивысшая оценка по показателю цвета была присвоена образцу, обработанному 200 импульсами. Лучший аромат был определен в опытном образце №1, а вкус – у опытного образца №2. Однако, средняя оценка вкусо-ароматических характеристик оказалась выше у опытного образца №3. Обработка мясного сырья 300 импульсами также положительно сказалась на консистенции варено-копченого продукта.

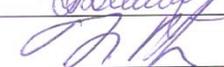
На основании результатов органолептической оценки образцов, члены дегустационной комиссии рекомендовали для внедрения на предприятия мясной промышленности опытные образцы №2 и №3.

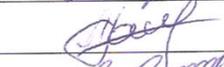
Члены комиссии:

  
\_\_\_\_\_ Куликов Ю.И.

  
\_\_\_\_\_ Оботурова Н.П.

  
\_\_\_\_\_ Судакова Н.В.

  
\_\_\_\_\_ Марченко В.В.

  
\_\_\_\_\_ Кравченко Н.В.

  
\_\_\_\_\_ Нагдалян А.А.

  
\_\_\_\_\_ Смолко Е.В.

## Приложение С

### Расчет экономической эффективности производства нового вида варено-копченого изделия из говядины «Уникум»

Исследование показателей качества контрольного и опытных образцов варено-копченого изделия из говядины показало, что РИО оказывает положительное влияние на качество готового продукта, способствуя улучшению как физико-химических, так и структурно-механических показателей. Комплексная оценка опытных образцов показала, что наиболее эффективным с технологической точки зрения режимом разрядно-импульсной обработки является воздействие на мясное сырье 300 импульсами с энергией разряда 5 кДж.

Внедрение результатов исследований в технологический процесс производства варено-копченого изделия из говядины позволит увеличить выход готовой продукции на 14,5% по сравнению с классической технологией производства. Однако при этом повысятся затраты на электроэнергию. Так как остальные технологические операции при производстве контрольного и опытного продукта осуществлялись при одинаковых режимах и в одинаковых условиях, оценка экономической эффективности производства варено-копченого изделия из говядины «Уникум» по сравнению с классической технологией может быть осуществлена сопоставления затрат на сырье и энергию.

Энергопотребление ГИТ-6 при установленном режиме обработки составляет 5кВт/ч. Так как частота следования импульсов составляет 0,5 Гц, длительность процесса занимает 600 с. С учетом загрузки и выгрузки сырья – 660 с. Максимальная загрузка в рабочую емкость – 20 кг.

Результаты расчета затрат на сырье и электрическую энергию при производстве 1000 кг продукта классическим и новым способом представлены в таблице С1. Стоимость говядины категории А в I квартале 2016 года составляла 320 руб/кг. Стоимость электроэнергии – 5,5 руб/кВт.

Таблица С1 – Расчет затрат на сырье и электричество при производстве контрольного и опытного образцов варено-копченого изделия из говядины

Образец	Выход, %	Требуемое количество говядины кат. А, кг	Затраты на говядину, тыс.руб	Требуемое количество электроэнергии, кВт	Затраты на электроэнергию, руб
Контрольный	84,7	1180,6	377,8	-	-
Опытный	99,2	1008,1	322,6	45,8	252,1

Таким образом, при производстве 1 тонны контрольного образца варено-копченого изделия затраты окажутся больше, чем на производство 1 т опытного образца на  $377,8 - 322,9 = 54,9$  тыс. руб.

В промышленных условиях широко используются интенсивные методы посола мяса, в связи с чем необходимо провести сравнительный анализ экономической эффективности варено-копченого изделия «Уникум» и базисного продукта, изготавливаемого в условиях реального мясоперерабатывающего предприятия. В качестве базисного продукта выбрана «Говядина деликатесная» в/с, изготавливаемая по ТУ 9213-802-00419779-10 в ЗАО Комбинат пищевой «Хороший вкус» (г. Екатеринбург). В процессе посола выбранного продукта осуществляется инъецирование рассола (4% поваренной соли, 3% нитритной соли, 4,7% Эффектана 5СМ) с последующим массированием в этом же рассоле. Выход «Говядины деликатесной» составляет 96%.

Ниже приведен сравнительный анализ экономической эффективности производства варено-копченого изделия по предлагаемой технологии и технологии, используемой на предприятии г. Екатеринбурга. Расчет себестоимости продуктов и технико-экономических показателей их производства выполнен в соответствии с Рекомендациями по расчетам экономической эффективности внедрения передовых технологий, механизации и автоматизации производственных процессов в мясной промышленности по ценам на март 2016г.

Таблица С2 – Характеристика и стоимость оборудования

Наименование оборудования	Марка	Производительность, кг/ч	Стоимость, тыс. руб.
Ињектор	DORIT PSM 21/42	2000	812
Массажер	"VARIO-VAC" VV-1-150	10	691
Генератор импульсов тока	ГИТ-6	110	500

Таблица С3 – Расчет себестоимости продукции

Наименование статей затрат	Затраты на 1 т готовой продукции, руб	
	«Говядина деликатесная»	«Уникум»
<b>1. Сырье и материалы всего</b>	354916,5	335183,2
Говядина кат. А.	333 333,3	322592,0
Соль пищевая	660,0	660,0
Нитритная соль	7650,0	7650,0
Сахар	–	1001,3
Эффектан 5СМ	9996,9	–
Вода	55,8	59,4
Шпагат	72,0	72,0
Подпергамент	1600	1600
Ящики из гофрированного картона	1548,5	1548,5
<b>2. Топливо и энергия на технологические цели</b>	31568,5	31674,6
Электроэнергия	1762,8	1868,9
Вода холодная	624,0	624,0
Газ	163,2	163,2
Холод	28808,0	2808,0
Пар	210,5	210,5
<b>3. Расходы на оплату труда</b>	1708,7	1918,5
<b>4. Содержание оборудования и зданий</b>	2352,1	1568,0
Амортизация оборудования	2196,1	1421,3
Амортизационные отчисления на здания и сооружения	156,0	146,7
<b>5. Внутрицеховые расходы</b>	923,1	792,2
<b>6. Цеховая себестоимость</b>	239 729,7	225 563,8
<b>7. Внутризаводские расходы</b>	4794,6	4511,3
<b>Полная себестоимость</b>	635993,2	601211,6

Таблица С4 – Технико-экономические показатели производства

Показатель	«Говядина деликатесная»	«Уникум»
Количество реализуемой продукции, кг	1000	1000
Полная себестоимость всего выпуска, руб.	635993,2	601211,6
Оптовая цена продукции, руб./т	731392,2	731392,2
Прибыль (убыток), руб.	95398,9	130181,6
Уровень рентабельности, %	14,9	21,7

## Технические условия

**ООО НПФ « Уникальный импульс »**

**ОКП 921350**

**Н 11**

**ОКС 67.120.10**

**Утверждаю  
Директор ООО НПФ  
« Уникальный импульс »**

  
**Нагдаев А.А.**  
**«02» 08 2015**

**Продукты мясные варено-копченые  
«Уникум»**

**ТУ 9213-001-21990461-2015  
Технические условия**

**Дата введения в действие  
«03» 08 2015**

**Разработано:  
ООО НПФ «Уникальный импульс»**

**Ставрополь  
2015**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ	
ФБУ «СТАВРОПОЛЬСКИЙ ЦСМ»	
ЗАРЕГИСТРИРОВАН КАТАЛОЖНЫЙ ЛИСТ	
Внесен в реестр	<u>02.08.2015</u>
За №	<u>065/004384</u>

ПР 50-718-99

## КАТАЛОЖНЫЙ ЛИСТ ПРОДУКЦИИ

Код ЦСМ	01	065	Группа КГС(ОКС)	02	67.120.10	Регистрационный номер	03	007382
---------	----	-----	-----------------	----	-----------	-----------------------	----	--------

Код ОКП

11 921350

Наименование и обозначение продукции

12 **Продукты мясные варено-копченые****"Уникум"**

Обозначение государственного стандарта

13

Обозначение нормативного или технического документа

14 **ТУ 9213-001-21990461-2015**

Наименование нормативного или технического документа

15 **Продукты мясные варено-копченые****"Уникум"**

Код предприятия-изготовителя по ОКПО и штриховой код

16 21990461

Наименование предприятия-изготовителя

17 **ООО НПФ "Уникальный импульс"**

Адрес предприятия-изготовителя (индекс; город; улица; дом)

18 **355029, Россия, г. Ставрополь,****проспект Кулакова, 16 В**Телефон 19 **8-988-778-31-76**

Телефакс 20

Телекс 21

Телетайп 22

Наименование держателя подлинника

23 **ООО НПФ "Уникальный импульс"**

Адрес держателя подлинника (индекс; город; улица; дом)

24 **355029, Россия, г. Ставрополь,****проспект Кулакова, 16 В**

Дата начала выпуска продукции

25 **03.08.2015**

Дата введения в действие нормативного или технического документа

26 **03.08.2015**

Номер сертификата соответствия

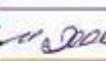
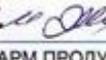
27 **Подлежит**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО  
ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ  
ФБУ "СТАВРОПОЛЬСКИЙ ЦСМ"  
ЗАРЕГИСТРИРОВАН КАТАЛОЖНЫЙ ЛИСТ  
Внесен в реестр 03.08.2015  
За № 065/007382

### 30. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКЦИИ

Продукты мясные варено-копченые " Уникум" вырабатываемые из мяса говядины, подвергая их разрядно - импульсной обработке, с последующим посолом и термической обработкой: варкой, копчением, охлаждением и расфасовкой. Внешний вид - поверхность изделия чистая, сухая, с наличием специй, края ровные без бахромок, допускается наличие следов от решетки на поверхности, форма прямоугольная, овальная слегка вытянутая, или иная другая, толщиной от 1,5 - 2,0 мм. Срок годности для продуктов копчено-вареных с момента окончания технологического процесса при температуре хранения от (0-6 ) град С упакованных под вакуумом составляет-30 суток Срок годности для продуктов варено-копченых, упакованных, при температуре хранения минус 18 град С составляет - не более 45 суток.

	Наименование показателя	Значение
1	Массовая доля влаги, %, не более	68
2	Массовая доля хлоридов, % не более	3,5
3	Массовая доля нитрита натрия, % не более	0,003

	Фамилия	Подпись	Дата	Телефон
Представил	04 <b>Нагдалян А.А.</b>		03.08.2015	8-988-778-31-86
Заполнил	05			
Зарегистрировал	06 <b>Харитоновъа И.Г.</b>		03.08.2015	8-8652-35-36-70
Ввел в каталог	07 <b>Харитонова И.Г.</b>		03.08.2015	8-8652-35-36-70

## **1. Область применения**

Настоящие технические условия распространяются на продукты мясные варено-копченые «Уникум» вырабатываемые из мяса говядины, подвергнутые разрядно-импульсной обработке, с последующим посолом и термической обработкой: варкой, копчением, охлаждением и расфасовкой.

Продукт варено-копченый мясной «Уникум» вырабатывают из мяса говядины и предназначен для непосредственного употребления в пищу.

По термическому состоянию продукты мясные варено-копченые «Уникум» вырабатывают: охлажденными и замороженными.

Термины и определения в соответствии с требованиями ГОСТР 52427.

Продукты варено-копченые охлажденные вырабатывают в вакуумной упаковке и упакованными полимерную пленку.

Пример записи продукции при ее заказе и(или) в других документах:

Продукт мясной из мяса говядины варено-копченый «Уникум»

ТУ 9213-001-21990461-2015

Далее по тексту: продукты варено-копченые из мяса говядины

## **2 Требования к качеству и безопасности**

2.1 Продукты варено-копченые из мяса говядины «Уникум» должны соответствовать требованиям настоящих технических условий и изготавливаться с соблюдением действующих санитарных правил и норм по рецептурам и технологическим инструкциям, утвержденных в установленном порядке.

2.2. По органолептическим продукты варено-копченые должны соответствовать требованиям, указанным в таблице 1

Таблица 1

<i>Наименование показателя</i>	<i>Характеристики и нормы для варено-копченых продуктов из говядины «Уникум»</i>
<i>Внешний вид</i>	<i>Поверхность чистая, сухая, с наличием специй, края ровные без бахромок, допускается наличие следов от решетки на поверхности</i>
<i>Форма</i>	<i>Прямоугольная, овальная слегка вытянутая, или иная другая, толщиной от 1,5 - 2,0 мм</i>
<i>Консистенция</i>	<i>Нежная, сочная</i>
<i>Цвет и вид на разрезе</i>	<i>Мышечная ткань красно-коричневого цвета, с различными оттенками, допускаются прослойки межмышечного жира</i>
<i>Вкус и запах</i>	<i>Вкус приятный, солоноватый, без постороннего привкуса и запаха, с ароматом специй</i>

2.3 По физико-химическим показателям продукты варено-копченые должны соответствовать требованиям представленным в таблице 2

Таблица 2

Наименование показателя	Характеристика и нормы
	Продукты варено-копченые из говядины
Массовая доля влаги, % не более	72,0
Массовая доля хлоридов, % не более	3,5
Массовая доля нитрита натрия, % не более	0,003
Температура изделий, °С	0 - 6
Температура замороженного изделия, °С	Не менее минус 18

2.4 По микробиологическим показателям продукты варено-копченые должны соответствовать требованиям ТР ТС 034/2013 и ТР ТС 021/2011 и представленным в таблице 3

Таблица 3

Группа продуктов	КМАФАМ КОЕ/г, не более	Масса продукта (г), в котором не допускается наличие				
		БГКП	Сульфит-редуцирующие клостридии	<i>S.aureus</i>	Патогенные, в т.ч. сальмонеллы	<i>L. monocytogenes</i>
1	2	3	4	5	6	7
Продукты мясные копчено-вареные	$1 \times 10^3$	1,0	0,1	-	25	25
Продукты копчено-вареные, сроки годности которых превышают 5 суток, в т.ч. нарезанные и упакованные под вакуумом	$1 \times 10^3$  $2,5 \times 10^3$ - для сервировочной нарезки	1,0	0,1	1,0	25	25

2.5 По показателям безопасности продукты варено-копченые должны соответствовать ТР ТС 021/2011 и представленным в таблице 4

Таблица 4

Наименование продукта	Показатели:		Допустимые уровни, мг/кг, не более	
			Мясо говядины	
Продукты из мяса всех видов убойных животных, кулинарные изделия из мяса и мяса птицы	<i>Токсичные элементы:</i>			
	свинец		0,5	
	мышьяк		0,1	
	кадмий		0,05	
	ртуть		0,03	
	Нитрозамины Сумма НДМА и НДЭА		0,002 0,004 (для копченых продуктов)	
	<i>Антибиотики*</i>			
	Левомецитин	не допускается	< 0,01 ед/г	
	Тетрациклиновая группа	не допускается	< 0,01 ед/г	
	Гризин	не допускается	< 0,5 ед/г	
	Бацитерацин	не допускается	< 0,02 ед/г	
	<i>Пестициды**</i>			
	Гексахлорциклогексан ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ - изомеры)	0,1		
	ДДТ и его метаболиты	0,1		
	Диоксин(***)	0,000003 говядина, баранина (в пересчете на жир)		
	Бенз(а)пирен	0,001 (для копченых продуктов)		
	<i>Радионуклиды, Бк/кг</i>			
	цезий -137	200		
	стронций-90	-		

## 2.7 Требования к сырью:

2.7.1 Для производства изделий варено-копченых из мяса говядины «Уникум» используют следующее сырье и материалы:

- мясо говядины по ГОСТР 53455;
- мясо говядины из тазобедренной, лопаточной части, спинной мышцы по ГОСТ Р 53455;
- перец черный молотый по ГОСТ 29050;
- перец душистый по ГОСТ 29045;
- нитрит натрия по ГОСТ 4197 (Е 250);
- соль поваренная пищевая по ГОСТР 51574
- сахар - песок по ГОСТ 21;

- смесь пряностей по НД изготовителя;
- вода питьевая по ГОСТР 51232;

### **3. Маркировка**

3.1 Потребительская маркировка (информация для потребителя) должна соответствовать требованиям ТР ТС 022/2011 и ГОСТ Р 51074 и представлена в виде текста, условных обозначений на потребительской таре, этикетке, контрэтикетке, ярлыке, листке-вкладыше или другими способами.

Маркировка должна содержать следующую информацию:

- наименование продукта, вида, подвида, категории;
- наименование и местонахождение изготовителя (юридический адрес, включая страну, и, при несовпадении с юридическим адресом, адрес изготовителя);
- товарный знак изготовителя (при наличии);
- состав продукта;
- пищевые добавки;
- информацию о пищевой ценности (согласно приложению А);
- дату изготовления и упаковывания (для фасованной продукции);
- срок годности;
- условия хранения;
- массу нетто (для фасованной продукции);
- надпись «упаковано под вакуумом» (в случае упаковки под вакуумом);
- термическое состояние продукта (замороженные, охлажденные);
- единый знак обращения продукции на рынке государств – членов Таможенного союза;
- обозначение документа, в соответствии с которым изготовлен и может быть идентифицирован продукт.

Способ и место нанесения даты изготовления на каждую единицу продукции может выбрать изготовитель. Допускается наносить информацию на специальное выделенное место на маркированной оболочке, а также наклеивать или закреплять в виде этикетки.

Разрешается наносить дополнительные сведения информационного и рекламного характера, относящиеся к данному продукту.

3.2 Транспортная маркировка – по ГОСТ 14192 и ГОСТР 51474 с нанесением манипуляционных знаков: «Скорпортящийся груз», «Ограничение температуры».

3.3 Ярлык с маркировкой, характеризующей продукцию, наклеивают на транспортную тару с указанием:

- наименование и местонахождение (юридический адрес) предприятия – изготовителя, и при несовпадении с юридическим – фактический адрес предприятия - изготовителя;
- наименование изделий;
- дата изготовления;
- срок годности;
- условия хранения;
- количество пищевой продукции;
- сведения позволяющие идентифицировать партию пищевой продукции;

Аналогичный ярлык вкладывают в каждую единицу транспортной тары.

Допускается не наносить транспортную маркировку на многооборотную тару.

3.4 Маркировка продукции, отправляемой в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности - по ГОСТ 15846.

### **4. Упаковка**

4.1 Продукты из мяса варено-копченые выпускают фасованными в потребительскую тару и реализуют фасованными.

4.2 Потребительская и транспортная тара, упаковочные материалы, должны соответствовать ТР ТС 005/2011 и документам в соответствии с которыми они изготовлены.

4.3 Изделия варено-копченые рекомендуется выпускать в реализацию упакованными в следующую потребительскую упаковку:

- подложку- ламинированную по НД изготовителя;
- пакеты вакуумные по НД изготовителя;
- пакеты из полимерной ленты или пленки полиэтиленовой по ГОСТ 10354;
- пакеты из полимерных или комбинированных материалов по ГОСТ 12302 и ГОСТ 32521;
- стрейч-пленку по НД изготовителя;
- термоусадочную пленку по ГОСТ 25951.

4.4 В качестве групповой упаковки и транспортной тары используют:

- полимерные многооборотные ящики по ГОСТ Р 51289;
- ящики из гофрированного картона по ГОСТ 13511;
- ящики из комбинированных материалов по ГОСТР 54463

4.4.1 Тара должна быть чистой, сухой, без плесени и постороннего запаха. Многооборотная тара должна иметь крышку. При отсутствии крышки допускается для местной реализации тару покрывать оберточной бумагой по ГОСТ 8273, или пергаментом по ГОСТ 1341, или подпергаментом по ГОСТ 1760, или другими упаковочными материалами

4.5 Масса нетто фасованных изделий мясных варено-копченых составляет от 20 до 1000 г.

Допускается по согласованию с потребителем выпускать продукты и иной массы нетто.

4.6 Масса нетто ящика не должна превышать 10 кг.

4.7 Предел допустимых отрицательных отклонений массы нетто одной упаковочной единицы, от номинальной массы не должны превышать требований ГОСТ 8.579.

4.8 Отклонение от номинальной массы в большую сторону - не ограничивается.

## ***5. Правила приемки***

5.1 Определение партии и объем выборок – по ГОСТ 9792, ГОСТ Р 51447.

5.2 Каждую партию продуктов сопровождают удостоверением о качестве и безопасности, в котором указывают:

- номер удостоверения и дату его выдачи;
- наименование изготовителя;
- вид, наименование и сорт продукта;
- дату изготовления;
- номер партии;
- срок годности продукта;
- условия хранения продукта;
- результаты текущего контроля;
- обозначение документа, в соответствии с которым изготовлен и может быть идентифицирован продукт;
- единый знак обращения продукции на рынке государств-членов ТС;

5.3 Органолептические показатели определяют в каждой партии.

5.4 Порядок и периодичность контроля физико-химических показателей устанавливает изготовитель продукции.

5.5 Порядок и периодичность контроля микробиологических показателей, содержания токсичных элементов, пестицидов, нитрозаминов, диоксида, антибиотиков, радионуклидов, устанавливает изготовитель продукции в программе производственного контроля.

5.6 В случае разногласия по составу используемого сырья проводят гистологическую идентификацию продукта.

- 5.7 Контроль содержания токсичных элементов, бенз(а)пирена, антибиотиков, нитрозаминов, радионуклидов, пестицидов, ГМО осуществляется в аккредитованных лабораториях и гарантирующими безопасностью продукции.
- 5.8 Производственный контроль производится в соответствии с требованиями СП 1.1.1058 и СП 1.1.2193

### 6. Методы контроля

- 6.1. Правила отбора проб по ГОСТ 9792.
- 6.2. Массу единицы готовой с продукции определяют на весах для статического взвешивания по ГОСТ Р 53228.
- 6.3. Массовую долю поваренной соли определяют по ГОСТ 9957.
- 6.4. Микробиологические показатели определяют по ГОСТ 26669; ГОСТ 10444.15, ГОСТ 31747, ГОСТ 31746, ГОСТ 29185, ГОСТ 30726, ГОСТ 31659; ГОСТ 32031.
- 6.5. Определение токсичных элементов по ГОСТ 26929; ртути по ГОСТ 26927, мышьяка по ГОСТ 26930, свинца по ГОСТ 26932, кадмия по ГОСТ 26933.
- 6.6. Определение пестицидов по ГОСТ Р 32308.
- 6.7. Определение массовой доли белка по ГОСТ 25011;
- 6.8. Определение массовой доли жира по ГОСТ 23042;
- 6.9. Определение нитрозаминов по МУ Роспотребнадзора;
- 6.10. Определение антибиотиков по ГОСТ Р 53601.
- 6.11. Определение бензапирена по ГОСТ Р 51650;
- 6.12. Определение диоксина по МУ Роспотребнадзора.
- 6.13. Определение радионуклидов по ГОСТ 32161

### 7. Правила транспортирования и хранения

7.1 Продукты транспортируют в авторефрижераторах или автомобилях-фургонах с изотермическим кузовом в соответствии с действующими правилами перевозок скоропортящихся грузов, действующими на данном виде транспорта, при наличии ветеринарных сопроводительных документов.

7.2 Продукты выпускаются в реализацию с температурой в толще изделия не ниже 0 °С и не выше 6 °С.

7.3 Срок годности для продуктов вареных, копчено-вареных, сырокопченых и сыровяленых с момента окончания технологического процесса при температуре хранения от 0 °С до 6 °С, относительной влажности воздуха 70-80 %, должен соответствовать, указанным в таблице

Вид упаковки	Вид фасовки	Срок годности, сут.
		без консервантов
<i>Вареные, копчено-вареные продукты</i>		
<i>пергамент подпергамент целлофановая пленка</i>	<i>Изделия в целом виде</i>	<i>5</i>
<i>под вакуумом и в защитной атмосфере</i>	<i>Изделия в целом виде</i>	<i>30</i>
	<i>порционная нарезка</i>	<i>25</i>
	<i>сервировочная нарезка</i>	<i>20</i>

7.4 Срок годности для продуктов варено-копченых, упакованных, при температуре хранения минус 18 °С составляет – не более 45 суток. В случае реализации в охлажденном виде без упаковки гарантийный срок годности составляет 9 суток.

**Приложение А  
(обязательное)**

<i>Наименование</i>	<i>Белки, г не менее</i>	<i>Жиры, г не более</i>	<i>Углеводы, г не более</i>	<i>Калорийность/ Энергетическая ценность, ккал/ кДж</i>
<i>Продукт из говядины копчено-вареный</i>				
<i>Продукт из говядины в/к «Уником»</i>	17,5	5,2	–	116,8/489

**Приложение Б  
(обязательное)**

**Пределы допускаемых отрицательных отклонений содержимого нетто от номинального количества**

Таблица А.1- Предел допускаемых отрицательных отклонений содержимого нетто от номинального количества ( не более 10 кг или 10л)

<i>Номинальное количество нетто М, г или мл</i>	<i>Предел допускаемых отрицательных отклонений Т</i>	
	<i>% от М</i>	<i>г или мл</i>
<i>Св. 5 до 50 включ.</i>	9	-
<i>* 50 * 100 *</i>	-	4,5
<i>*100 * 200 *</i>	4,5	-
<i>*200 * 300 *</i>	-	9
<i>*300 * 500 *</i>	3	-
<i>*500 * 1000 *</i>	-	15
<i>*1000 * 10000 *</i>	1,5	-

*Примечание- Абсолютные значения Т, рассчитанные по процентам, округляют до десятых долей для М менее 1000 и до целых долей для М более 1000.*

Таблица А.2- Предел допускаемых отрицательных отклонений содержимого нетто от номинального количества (свыше 10 кг или 10л)

<i>Номинальное количество нетто М, кг или л</i>	<i>Предел допускаемых отрицательных отклонений Т</i>	
	<i>% от М</i>	<i>г или мл</i>
<i>Св. 10 до 15 включ.</i>	-	150
<i>* 15 * 50 *</i>	1,0	-
<i>*50 * 100 *</i>	-	500
<i>** 100</i>	0,5	-

Таблица А.3 - Предел допускаемых отрицательных отклонений содержимого нетто от номинального количества для упаковочных единиц с различным номинальным количеством содержимого упаковки

<i>Номинальное количество нетто М, г или мл</i>	<i>Предел допускаемых отрицательных отклонений Т</i>
<i>До 100 включ.</i>	1,0

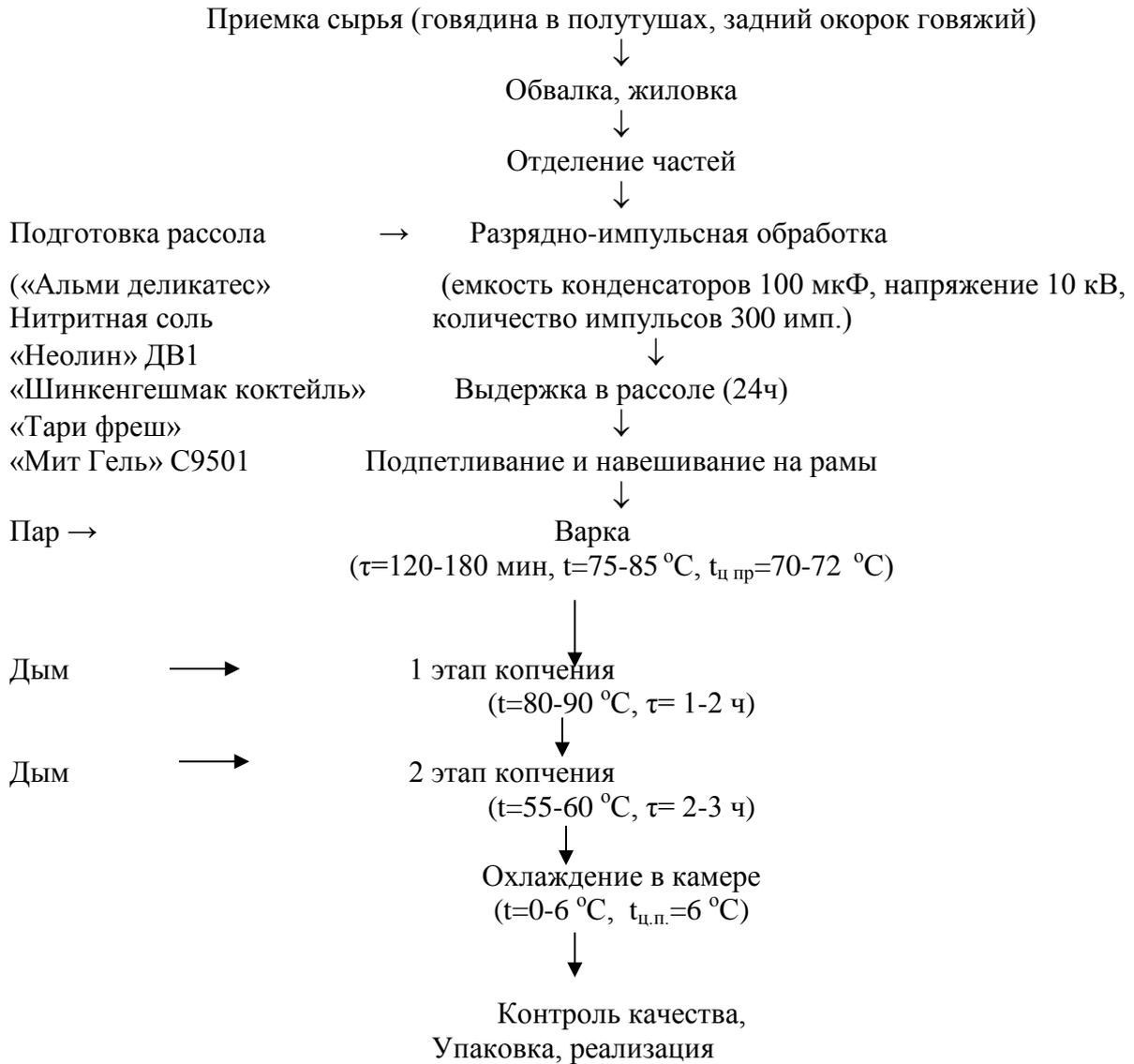
Св. 100 * 500 *	2,0
* 500 * 2000 *	5,0
*2000 * 10000 *	10,0
Примечание- Значения T округляют до десятых долей для M менее 1000 и до целых долей для M более 1000.	

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**(справочное)**

Номер документа	Наименование документа
1	2
ГОСТ 8.579- 2002	«Требования к количеству фасованных товаров в упаковках любого вида при их производстве, расфасовке, продаже и импорте»
ГОСТ 9957-73	«Колбасные изделия и продукты из свинины, баранины и говядины. Метод определения хлоридов натрия»
ГОСТ 9959-91	«Продукты мясные. Общие условия проведения органолепти-ческой оценки»
ГОСТ 10444.12-88	«Продукты пищевые. Методы определения дрожжей и плесневых грибов»
ГОСТ 10444.15-94	«Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов»
ГОСТ 13511-2006	«Ящики из гофрированного картона для пищевых продуктов, спичек, табака и моющих средств. ТУ»
ГОСТ 14192-96	«Маркировка грузов»
ГОСТ 18251-87	«Лента клеевая на бумажной основе. ТУ»
ГОСТ 18321-73	Статистический контроль качества. Метод случайного отбора штучной продукции
ГОСТ 23042-86	«Мясо и мясные продукты. Методы определения жира»
ГОСТ 25011-81	«Мясо и мясные продукты. Методы определения белка»
ГОСТ 26669-85	«Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов»
ГОСТ 26927-86	«Сырье и продукты пищевые. Метод определения ртути»
ГОСТ 26929-94	«Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов»
ГОСТ 26930-86	«Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка»
ГОСТ 26932-86	«Сырье и продукты пищевые. Метод определения свинца»
ГОСТ 26933-86	«Сырье и продукты пищевые. Методы определения кадмия»
ГОСТ 28498 – 90	«Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний»
ГОСТ 29050-91	«Пряности. Перец черный и белый. Технические условия»
ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002)	Продукты пищевые. Методы выявления бактерий рода Salmonella
ГОСТ 31746-2012	Продукты пищевые. Метод выявления и определения количеств бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)»
ГОСТ 31747-2012	«Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода Salmonella»

ГОСТ 31797-2012	«Мясо. Разделка говядины на отрубы. ТУ»
ГОСТ 31903-2012	Продукты пищевые. Экспресс-метод определения антибиотиков.
ГОСТ 32031-2013	«Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества <i>Listeria monocytogenes</i> »
ГОСТ 32163-2012	Цезий-137. Определение в пищевых продуктах.
ГОСТ Р 50962-96	«Посуда и изделия хозяйственного назначения»
ГОСТ Р 51074-2003	«Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования»
ГОСТ Р 51232-99	«Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества»
ГОСТ Р 51289-99	«Ящики полимерные многооборотные. ОТУ»
ГОСТ Р 51474-99	Упаковка. Маркировка, указывающая на способ обращения с грузами
ГОСТ Р 51574-2000	«Соль поваренная пищевая. Технические условия»
ГОСТ Р 51760 -01	«Тара потребительская полимерная. ОТУ»
ГОСТ Р 52427-2005	«Промышленность мясная. Продукты пищевые. Термины и определения»
ГОСТ Р 53228-2008	«Весы неавтоматического действия. Часть 1 Метрологические и технические требования. Испытания»
ГОСТ Р 54315-2011	«Крупный рогатый скот для убоя. ТУ»
ГОСТ Р 54463-2011	«Тара из картона и комбинированных материалов для пищевой продукции. ТУ»
ГОСТ Р 55909-2012	«Чеснок свежий реализуемый. ТУ»
МУ 2142-80	«Методические указания по определению хлорорганических пестицидов в воде, продуктах питания, кормах и табачных изделий методом хроматографии в тонком слое»
СП 1.1.1058 – 01	«Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»
СП 1.1.2193-2007	Изменений и дополнение 1 к СП 1.1.1058»
МУК 4.2.026-95	«Экспресс метод определения антибиотиков в пищевых продуктах»
ТР ТС 005/2011 О безопасности упаковки	
ТР ТС 022/2011 Пищевая продукция в части ее маркировки	
ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции	
ТР ТС 034/2013 О безопасности мяса и мясных продуктов	

### Технологическая схема производства варено-копченого изделия из говядины «Уникум»



**Рецептура варено-копченого изделия из говядины «Уникум»**

- 1) Части заднего окорока говяжьего жилованного
- 2) «Альми деликатес»
- 3) Нитритная соль
- 4) «Неолин» ДВ1
- 5) «Шинкенгешмак коктейль»
- 6) «Тари фреш»
- 7) «Мит Гель» С9501

Мясное сырье принимается в парном, охлажденном, либо в замороженном состоянии в виде полутуш или отруба – заднего окорока.

Рассол готовится в никелированной таре посредством перемешивания компонентов в воде. Разрядно-импульсная обработка проводится на оборудовании Генератор импульсов тока (ГИТ).

Режимы обработки:

Объём конденсаторов – 100 микрофард

Напряжение – 10 киловольт

Уровень запасаемой энергии – 5 килоджоулей

Количество импульсов: 300

Выдержка обработанного сырья в рассоле с тем же компонентным составом проводится в течение 28 часа, после чего вымывается водой и подпетливается шпагатом.

Термическая обработка происходит в 2 стадии – варки и копчения в универсальной термокамере. Процесс варки занимает 120-180 минут при температуре пара 75-85 градусов до достижения в центре куска температуры 72 градуса. Копчение проводится в 2 подэтапа – при температуре 85-90 градусов (1-2 часа) и 55-60 градусов (2-3 часа)

После термической обработки готовый продукт охлаждают в камере при температуре 0-6 градусов до достижения температуры в центре продукта 6 градусов.

После контроля качества готовый продукт упаковывается в полиэтиленовую пленку и подается на реализацию.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 126571

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСОЛА МЯСНОГО СЫРЬЯ С  
ПОМОЩЬЮ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Патентообладатель(ли): *Общество с ограниченной  
ответственностью "Наше время" (ООО "Наше время") (RU)*

Автор(ы): *Оботурова Наталья Павловна (RU), Лукьянченко  
Павел Петрович (RU), Нагдалян Андрей Ашотович (RU)*

Заявка № 2012118102

Приоритет полезной модели 04 мая 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 10 апреля 2013 г.

Срок действия патента истекает 04 мая 2022 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





**ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ**  
малых форм предприятий в научно-технической сфере

# ДИПЛОМ

Победитель программы “Участник молодежного  
научно-инновационного конкурса” (“УМНИК”)

*Нагдальен*  
*Андрей Антонович*

*Председатель  
Наблюдательного совета*

*И.М. Бортник*

*Генеральный директор  
Фонда содействия развитию  
малых форм предприятий  
в научно-технической сфере*

*С.Г. Поляков*



Зарегистрирован Минюстом России  
распоряжением от 08 декабря 2010 № 10200-р

Некоммерческая организация Фонд развития Центра разработки и  
коммерциализации новых технологий

## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о внесении записи в реестр участников проекта о присвоении статуса  
участника проекта создания и обеспечения функционирования  
инновационного центра «Сколково»

Настоящим подтверждается, что в соответствии с Федеральным законом  
«Об инновационном центре «Сколково» внесена запись в реестр участников  
проекта о присвоении статуса участника проекта создания и обеспечения  
функционирования инновационного центра «Сколково»

Общество с ограниченной ответственностью научно-производственная фирма

*(полное наименование)*

«Уникальный импульс»

*юридического лица с указанием организационно-правовой формы)*

ООО НПФ «Уникальный импульс»

*(сокращенное наименование юридического лица)*

Основной регистрационный номер

1	1	2	1	2	3	5
---	---	---	---	---	---	---

Дата внесения записи в реестр участников проекта « 03 » декабря 201 5г.

*Буренин* А.В. Буренин  
*(подпись, Ф.И.О.)*



« 03 » декабря 201 5г.

10№ 0001629



# СЕРТИФИКАТ № 14-277

ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ИНЖЕНЕРА РОССИИ

ВРУЧЕН

**Нагдалянну Андрею Ашотовичу**

по результатам Всероссийского конкурса  
«Инженер года» в номинации

Пищевая промышленность

Действителен в течение 5 лет

Председатель жюри конкурса:



**Ю.В. Гуляев**  
академик РАН,  
член президиума РАН

26 декабря 2013 г.

г. Москва