

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента, доктора физико-математических наук**

**ЧЕРНЯЕВА Александра Петровича**

**на диссертацию Вазирова Руслана Альбертовича**

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ  
ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ  
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ НАНОСЕКУНДНЫМ  
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ»**

**на соискание ученой степени по специальности 1.5.1 – «Радиобиология»**

### **Актуальность**

Применение радиационных технологий и сопутствующих им методов способствует устойчивому развитию экономики и позволяет эффективно решать целый ряд проблем в многих сферах промышленности и сельского хозяйства.

При проведении радиационной обработки пищевой продукции важно подобрать оптимальную схему облучения продукта и технологический диапазон доз, при которых, с одной стороны, достигается цель обработки, с другой стороны, не снижается качество и пищевая ценность продукта, не изменяются его физико-химические свойства.

Диссертация посвящена изучению эффективности применения низкоэнергетического электронного излучения для поверхностной антимикробной обработки птицеводческой продукции.

В ходе работы автор диссертации исследовал воздействие различных доз и энергий электронного излучения на микробиологические и физико-химические показатели продукции. По результатам исследования выработаны рекомендуемые дозы и режимы облучения.

Данное исследование может быть положено в основу разработки методических рекомендаций для радиационной обработки отдельных

категорий птицеводческой продукции, что позволит расширить ассортимент продукции, пригодной для использования данной технологии.

Учитывая нарастающий интерес к теме радиационной обработки объектов органического и неорганического происхождения, а также рост количества центров промышленной радиационной обработки по всему миру, актуальность диссертации не вызывает сомнений.

### **Обоснованность и достоверность результатов**

Лицензионное программное обеспечение PCLab использовалось для расчетов характеристик поля электронного излучения в обрабатываемых образцах. Для подтверждения расчетов автор применял метод пленочной дозиметрии для измерения поверхностной дозы от электронного излучения при обработке объектов, а также термолюминесцентные дозиметры для измерения поглощенной дозы от тормозного излучения в объеме обрабатываемых образцов.

Для оценки эффективности обработки низкоэнергетичным электронным излучением автор использовал методику подсчета обсемененности птицеводческой продукции, а также комплексный подход к оценке качества и безопасности обработанных электронным излучением пищевых продуктов. Помимо стандартного набора показателей образцов яиц и мяса птицы, автор исследовал воздействие излучения на поверхность куриных яиц с помощью электронного микроскопа, методом ЭПР спектроскопии провел исследование протекания радикальных процессов в скорлупе яиц, а также исследовал гистологию куриного мяса после воздействия ионизирующим излучением.

Все вышеупомянутые методики апробированы, их выбор для определения технологического диапазона доз и энергий при обработке птицеводческой продукции электронным излучением обоснован.

Результаты расчетов верифицированы большим количеством экспериментов на ускорителях. Положения, выносимы на защиту,

подтверждаются большим объемом экспериментальных данных, приведенным в диссертации.

### **Новизна результатов**

Результаты и положения, выносимые на защиту, действительно обладают новизной. Впервые установлены технологические диапазоны доз и энергий для проведения поверхностной радиационной обработки птицеводческой продукции низкоэнергетичным электронным излучением. Показана возможность использования ЭПР спектроскопии для определения дозы, поглощенной скорлупой яиц при проведении их радиационной обработки, что является новым результатом. Результаты исследования влияния низкоэнергетичного электронного излучения на свойства инкубационных яиц безусловно обладают новизной.

### **Значимость**

Результаты исследования могут быть положены в основу разработки технического регламента в отношении использования низкоэнергетичного наносекундного электронного пучка для антимикробной обработки отдельных категорий птицеводческих продуктов. Данные рекомендации могут быть использованы в центрах промышленной радиационной обработки.

Полученные аналитически и подтвержденные экспериментально результаты по определению характеристик поля излучения, генерируемого ускорителями типа УРТ, в объектах в зависимости от физических характеристик излучения, имеют научную значимость.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа построена по общепринятому плану, состоит из введения, 5 глав, выводов, заключения и списка литературы. Работа изложена на 136 машинописного текста и содержит 28 таблиц, 29 рисунков и библиографический список из 157 наименований. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Во введении автор обосновывает актуальность и очень подробно раскрывает степень разработанности рассматриваемой проблемы, обозначает цель и задачи исследования, отмечает научную новизну полученных результатов, теоретическую и практическую значимость работы, а также излагает положения, выносимые на защиту.

Аналитический обзор состоит из 9 самостоятельных разделов, посвященных проблеме микробиологического загрязнения пищевой продукции, анализу современных исследований по применению как традиционных методов обработки продуктов питания, так и по воздействию ионизирующих излучений с целью контроля безопасности птицеводческой продукции. Перечислены общие цели применения радиационной обработки в отношении пищевой продукции, приведены технологические диапазоны доз для обработки птицеводческой продукции, основанные на анализе исследований других авторов.

Представлен анализ источников электронного излучения, применяемых для радиационной обработки пищевой продукции. Даны наглядные сравнительные таблицы характеристик ускорителей постоянного тока, линейных ускорителей и импульсно-периодических ускорителей. Сравнительная таблица источников электронного, рентгеновского и гамма-излучений приводится, в основном, путем сравнения их характеристик на качественном уровне.

В целом обзор показывает, что автор ориентируется в рассматриваемой проблематике, хорошо владеет современной литературой, в том числе и электронными источниками информации.

Глава 2 посвящена материалам и методам, применяемым в ходе выполнения исследования. В работе представлены методы расчета экстраполированного пробега электронов в веществе, а также расчеты распределения дозы по объему обрабатываемых объектов с использованием

компьютерного моделирования. Для подтверждения расчетов используются пленочные дозиметры и термолюминесцентная дозиметрия, что говорит о комплексности подхода при осуществлении дозиметрического контроля при облучении исследуемых образцов.

Также представлено подробное описание объектов исследования, обосновано применение методик определения обсемененности птицеводческой продукции, а также различных методик по определению качества и пищевой ценности столовых куриных яиц и мяса курицы. Используется метод ЭПР спектроскопии для мониторинга протекания радикальных процессов в скорлупе обрабатываемых ионизирующим излучением яиц. Представлен комплексный подход к определению воздействия электронного излучения на инкубационные яйца.

Глава 3 посвящена результатам экспериментальных дозиметрических измерений, их сравнению с расчетами распределения дозы по объему обрабатываемых образцов. Представлены результаты ЭПР спектроскопии яичной скорлупы, идентифицированы пики ЭПР сигнала. Проведено сравнение интенсивности спектра при обработке образцов электронным излучением, получаемым от различных ускорителей электронов, а также от дозы, поглощенной образцами. Получена аналитическая зависимость параметра ЭПР сигнала от дозы. Показана возможность определения дозы, поглощенной куриными яйцами, при проведении обработки электронным излучением с использованием метода ЭПР спектроскопии.

В главе 4 представлен широкий спектр экспериментальных исследований по подтверждению эффективности применения низкоэнергетичного электронного излучения в отношении антимикробной обработки столовых и инкубационных куриных яиц, а также мяса птицы. Исследован радиобиологический отклик различных популяций микроорганизмов, на воздействие электронным излучением в различных дозах.

Глава 5 содержит результаты исследования влияния электронного излучения в различных дозах на физико-химические показатели мяса птицы и куриных яиц, а также на качество инкубационных яиц, приводится оценка влияния на эмбрион.

В конце каждой главы даны выводы, что делает работу более удобной для изучения и понимания. Диссертация является целостным, обладающим внутренним единством научно-исследовательским трудом по воздействию ионизирующего излучения на биообъекты. Основное содержание диссертации полностью соответствует ее автореферату.

Научные результаты диссертации представлены в научно-технической литературе (18 печатных работ, в том числе 8 статей в реферируемых российских и зарубежных периодических научных изданиях, 2 патента).

Работа прошла апробацию на шести национальных и международных конференциях. Личный вклад автора в результаты диссертации является определяющим и представлен в тексте работы достаточно убедительно. Текст диссертации хорошо оформлен и изложен четким и ясным языком.

#### **Замечания и недостатки**

Наряду с достоинствами работы необходимо отметить и некоторые недостатки.

1. В диссертации заявлена цель, заключающаяся в изучении механизмов радиационной поверхностной антимицробной обработки пищевой продукции. В работе представлены результаты ЭПР спектроскопии, подтверждающие наличие радикалов в яичной скорлупе после воздействия электронным излучением. Однако, не обсуждаются механизмы радиационно-химических превращений в белке и желтке яиц, оказывающие непосредственное воздействие на физико-химические свойства их внутренних структур.
2. В главе 1 при обсуждении источников ионизирующих излучений, применяемых в радиационной обработке, не обсуждаются

различные конфигурации облучения различных категорий пищевой продукции, а именно, одностороннее или двустороннее облучение, подбор режимов работы ускорителей с целью повышения эффективности обработки. Также данная часть диссертации смотрелась бы выигрышнее, если бы были приведены примеры распределений дозы по объему обрабатываемых объектов для различных источников излучения, а также варианты технологических решений применения пучков электронов в действующих центрах промышленной радиационной обработки.

3. Часть экспериментальных данных представлена с учетом погрешности измерений. Однако, не указано, как эти погрешности были рассчитаны. Часть данных приводится без погрешностей, что не является корректным представлением результатов экспериментальной работы.
4. Обработка низкоэнергетичным электронным излучением мяса птицы не привела к желаемому антимикробному эффекту из-за высокой неоднородности распределения дозы по объему обрабатываемого объекта. Поверхностная обработка низкоэнергетичным электронным излучением охлажденного мяса птицы в промышленной упаковке продукции малоэффективна, ее применение в отношении данной категории продукции не обосновано.
5. В работе встречаются стилистические неточности, снижающие общее впечатление от работы. Например: «... скорлупа – это пористая структура, и прохождение электронов через нее будет сложным процессом» и т.д.
6. Некоторые заключения сделаны на качественном уровне и не подтверждены конкретными фактами. Например, «...гамма-излучение обладает хорошей проникающей способностью, а также исключительно высокой надежностью...» и т.д.

Вместе с тем, указанные замечания не умоляют значимости диссертационного исследования.

### **Выводы и заключение**

На основании вышеизложенного следует заключить, что диссертационная работа Вазирова Руслана Альбертовича на тему «ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ НАНОСЕКУНДНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ» является законченным научным трудом, позволяющим по своей актуальности, научно-практической значимости, достоверности результатов, обоснованности выводов и практических рекомендаций сделать общий вывод о том, что диссертация содержит новое решение задачи по радиационной обработке птицеводческой продукции низкоэнергетичным электронным излучением и соответствует требованиям Высшей Аттестационной Комиссии, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности – 1.5.1 – радиобиология, а сам автор достоин присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
заведующий кафедрой физики ускорителей  
и радиационной медицины

Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,  
профессор

Черняев Александр Петрович



7.10.2021г

Контактные данные:

тел.: 7(495)9394946, e-mail: a.p.chernyaev@yandex.ru



Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

01.04.16 – «Физика атомного ядра и элементарных частиц»

Адрес места работы: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 2,

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Тел.: 8(495)9394946; e-mail: kaf-hea@physics.msu.ru

Подпись сотрудника физического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
Черняева А.П. удостоверяю:

Проректор



А.А. Федянин