

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу ВАЗИРОВА Руслана Альбертовича, «Исследование эффективности радиационной поверхностной обработки пищевой продукции низкоэнергетическим наносекундным электронным пучком», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1. Радиобиология

Актуальность избранной темы.

Радиационная обработка пищевой и сельскохозяйственной продукции, основанная на использовании низкоэнергетического электронного излучения, актуальна для решения проблем, связанных с обеспечением микробиологической безопасности и дезинфекции продукции, требующих высоких доз облучения при малой проникающей способности ионизирующего излучения. При этом дозы от возникающего тормозного излучения электронов небольшие и не способны повлиять на качество облучаемой продукции. Известен метод обработки семян и дезинфекции зерновых, так называемая технология «eventus», в которой семена обрабатывают электронами низкой энергии. Глубина проникновения составляет менее 0,5 мм, в зависимости от энергии электронов. Этот факт делает обработку эффективной для предпосевного протравливания семян, из-за отсутствия повреждения зародышей зерна и таким образом не снижается всхожесть семян. Несмотря на растущий интерес применения радиационных технологий в пищевой и сельскохозяйственной промышленности отсутствуют систематические исследования эффективности применения низкоэнергетического излучения на различных объектах, поэтому настоящая работа актуальна.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Знания диссертанта в области радиационных технологий, радиобиологии, дозиметрии ионизирующего излучения и междисциплинарных областях позволили сформулировать новые выводы, положения и понятия относительно влияния и эффективности использования низкоэнергетического излучения для радиационной обработки продукции. Диссертант осуществил всесторонний анализ характеристик и биологических эффектов радиационной поверхностной обработки и таким образом внес определенный вклад в разработку концепций и методов радиационных технологий.

В работе правильно подобраны теоретические и эмпирические материалы, определены верные метрологические подходы и сделан комплексный анализ исследуемой проблемы. Проведен анализ широкого круга российской и зарубежной научной литературы (157 источников), среди которых в достаточном количестве представлена литература последних лет.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В диссертационной работе впервые изучены эффекты радиационной обработки наносекундным низкоэнергетическим электронным пучком куриного мяса и куриных яиц. Многие из представленных результатов получены впервые, в частности обнаружена возможность обработки электронным пучком инкубационных куриных яиц, без снижения жизнеспособности эмбрионов. Проведены исследования ЭПР спектров, показывающие возможность применения данного метода для дозиметрического контроля в процессе радиационной обработки. Диссертация Вазирова Р.А. является законченной научной работой и самостоятельным научным исследованием. Достоверность полученных

результатов проверена макроскопическими и микробиологическими анализами облученных материалов.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Полученные в диссертационной работе результаты имеют научное и прикладное значение в плане развития методов радиационных технологий для пищевой и сельскохозяйственной промышленности. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при разработке научных основ и норм радиационных методов обработки пищевой продукции.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-16-04038 «Разработка электрофизических технологий по обеспечению ветеринарной и биологической безопасности в птицеводстве» в 2016–2018 (с продлением до 2019–2020)

Оценка содержания работы, ее завершенность

Диссертация логично структурирована: первая глава представляет собой обзор литературы; оригинальные главы излагаются в последовательности, соответствующей последовательности процессов изучения научных основ и разработки новой методики радиационной обработки: вторая глава посвящена описанию используемых материалов и методик, третья глава – изучению дозиметрических характеристик и контроля уровня дозы, четвертая глава – изучению микробиологических характеристик продукции и определению зависимостей доза-эффект, пятая глава – оценке изменения пищевой ценности и физико-химических свойств продукции.

Задачи работы состояли: в определении радиобиологических показателей зависимостей «доза-эффект», характеризующих эффективность антимикробной радиационной обработки низкоэнергетическим наносекундным электронным пучком упакованных мяса и субпродуктов цыплят бройлеров, а также столовых и инкубационных яиц кур; а также в измерении распределения дозовых полей в объеме облучаемых продуктов, обеспечивающих их микробиологическую безопасность при сохранении качества продукции. В целом диссертация производит хорошее впечатление, методически выдержана, практически весь материал статистически обработан.

В работе определены микробиологические показатели пищевой продукции, являющиеся основным критерием выбора сценария облучения и изменение данных показателей позволили автору диссертации сделать вывод об эффективности радиационной обработки по показателям микробиологической безопасности продукта для нескольких вариантов формирования дозовых полей и определить оптимальные варианты и режимы облучения. Автором были проведены работы по облучению патогенных штаммов микроорганизмов рода *Sal. enteritidis*, *Sal. typhimurium*, *Sal. Gallinarum*. Бактерии рода *Salmonella* являются одними из основных возбудителей заболеваний человека. Часто встречаются в мясе, субпродуктах цыплят бройлеров, в столовом и инкубационном яйце кур.

Положительной стороной работы является то, что дозиметрия проводилась разными методами, которые показали хорошую сходимость, поэтому в абсолютной величине применяемых в работе доз и мощностей доз не приходится сомневаться. Для расчётов дозовых полей в облучаемых пищевых продуктах использовалась программа PCLab с возможностью решения уравнения переноса электронов методом Монте-Карло, что позволило получить вероятное распределение дозовых полей в различных вариантах облучения продукции на ускорителях типа УРТ. При выполнении дозиметрических исследований проводилось экспериментальное определение поглощённых доз с помощью «детекторов-свидетелей», размещённых в различных точках облучаемого объекта. В качестве таких детекторов были использованы термолюминесцентные детекторы ТЛД-500 на основе оксида алюминия и различные пленочные дозиметры.

Выводы работы построены исключительно на основании собственных экспериментальных данных и обобщений, выстроены в логический последовательный ряд. Автореферат достаточно адекватно и полно отражает содержание диссертации, однако часть результатов исключены без значимого влияния на основную суть работы. Практически все положения диссертации нашли отражение в опубликованных работах Вазирова Р.А., большинство которых опубликованы в авторитетнейших международных специализированных изданиях, что является несомненным свидетельством новизны, высокого методического уровня и достоверности полученных результатов. Также результаты работы представлены в 2х патентах, что показывает практическую значимость и апробацию исследуемой методики.

Полученные результаты апробированы на многих международных и региональных конференциях, в том числе радиобиологического направления и получили высокую оценку научной общественности. Диссертация, как и автореферат, выполнены в соответствии с требованиями, которые предъявляются к материалам подобного рода. Вазиров Р.А. впервые провел обширные исследования применения низкоэнергетического электронного пучка для обеззараживания поверхности куриных яиц, включающие в себя как микробиологическую оценку, так и физико-химические изменения, а также апробировал методику ЭПР дозиметрии для проведения контроля применения ионизирующего излучения. Были проведены исследования дозиметрических характеристик низкоэнергетического электронного излучения на ускорителях УРТ. Это позволило диссертанту исследовать механизмы радиационной поверхностной антимикробной обработки с применением низкоэнергетического излучения и создать научные основы для применения этого метода в практике. Обобщение этих результатов вносит важный вклад в решение фундаментальных и прикладных проблем применения радиационных технологий в пищевой и сельскохозяйственной промышленности.

Замечания и пожелания.

1. В тексте диссертации довольно много аббревиатур, например: ПП, ПД, НЭ, РПО, НЭП, ТИ и многие другие. Например, на стр. 7 есть фраза: “Радиационная обработка ПП – это обработка ПП ИИ” Очень трудно читать такой текст.

2. На 7 странице написано: “После радиационной обработки ПП не должна обладать наведенной активностью. Поэтому, согласно требованиям МАГАТЭ, могут быть использованы источники гамма-излучения (радионуклиды ^{60}Co или ^{137}Cs), рентгеновское тормозное излучение (с энергией ниже 5 МэВ) и ускоренные электроны (с энергией ниже 10 МэВ)”. По состоянию на 2021 год пять стран разрешили использовать тормозное излучение с энергией не более 7.5 МэВ, а именно:

India - Reference: Atomic Energy (Radiation Processing of Food and Allied Products) Rules, 2012, GSR 158 Paragraph 6(a), Gazette of India dated June 24-30, 2012: X-rays generated from a machine operated at or below 7.5 MeV

USA - Reference : Code of Federal Regulations 21CFR179 Sec. 179.26 (4) X rays generated from machine sources using tantalum or gold as the target material and using energies not to exceed 7.5 (MeV).

Canada - Reference: Food And Drugs Act Vol. 151, No. 4 — February 22, 2017. For ground beef and the conversion target must be gold or tantalum.

Indonesia - Reference: Peraturan Badan Pengawas obat dan makanan Nomor 3 Tahun 2018 - Tentang Pangan Iradiasi

South Korea - Reference Korean Food Code Rev August 2020 page 46 - The conversion target must be gold or tantalum.

Значит ли, что в этих странах разрешено употреблять продукты с наведенной радиоактивностью?

3. В главе 1.2 достаточно хорошо показаны недостатки обработки пищевых продуктов тепловым и химическим способом из которых следуют преимущества радиационной обработки, но из главы 1.3 не видно преимуществ обработки низкоэнергетическим пучком электронов по сравнению с обработкой ультрафиолетом.

4. Страница 32: "Наиболее предпочтительным для использования является гамма-излучение, поскольку оно может проникать достаточно глубоко, тогда как пучки электронов обладают относительно ограниченной проникающей способностью. Однако радиоактивные изотопы ^{60}Co и ^{137}Cs нельзя выключить при необходимости и требуется проводить утилизацию уже отработанных материалов. Совместно два этих фактора создают большую сложность в использовании и обслуживании данных источников ИИ. Рентгеновские лучи способны облучать более толстые объекты, но данный процесс является чрезвычайно дорогостоящим и энергоемким из-за потерь энергии при конверсии электронов в ТИ". В этом параграфе наблюдается путаница в сравнении методов. Получение тормозного излучения более дорогое по сравнению с электронным пучком, но тормозное излучение ускорителей, по затратам, сравнимо со стоимостью эксплуатации изотопных гамма-установок. Поэтому все три метода реально используются в промышленности в зависимости от типа продукции. Особенно интересны ускорители, которые могут работать в двух модах - в электронной и моде тормозного рентгеновского излучения.

5. Страница 32: "Методы дезинфекции, основанные на использовании гамма-излучения, хорошо подходят для обработки твердых ПП большого размера, когда необходимо равномерное распределение ПД в глубине. Однако из-за низких мощностей доз, обработка ПП больших масштабов с использованием гамма излучения и рентгеновского излучения становится сложной задачей". Масштабы производства не зависят от мощности дозы, а зависят от мощности излучения. Сейчас промышленность производит и ускорители для тормозного излучения с мощностью пучка сотни киловатт и гамма установки с активностью несколько мегакюри. К тому же эти установки легко каскадируются.

6. В работе названы аналогами ускорителей типа УРТ - ускорители производства Института Ядерной Физики (где и трудится оппонент) ИЛУ и ЭЛВ. Параметры этих ускорителей гораздо выше и по энергии ускоренных электронов и по мощности и совсем не предназначены для поверхностной обработки. Я бы лучше назвал аналогом ускоритель СОМЕТ-300 компании Comet ebeam Technologies, Switzerland, имеющий энергию 300 КэВ и мощность 4.5 кВт. Таким образом видно, что существует потребность в ускорителях для поверхностной обработки и автор целенаправленно исследует данную нишу применения ускорителей. Но в этом же месте, как сотрудник института Ядерной Физики, отмечаю, что в диссертации приведены устаревшие параметры ускорителей ИЛУ и ссылка на неподдерживаемый сайт Института. На современном сайте показано, что ускорители ИЛУ-10 достигли энергии 5 МэВ и созданы ускорители ИЛУ-12 и ИЛУ-14 с энергией 7.5-10 МэВ и мощностью 60-100 кВт.

7. В работе исследуется поверхностная обработка куриного мяса. Но Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции" запрещает обращение на территории таможенного союза мяса птицы, обработанное ионизирующим излучением. В то же время в диссертации ясно показаны все преимущества радиационной обработки куриного мяса. Существуют ли перспективы внедрения метода в нашей стране?

Полученные в диссертационной работе результаты являются научной основой для успешного применения технологии радиационной поверхностной обработки с использованием низкоэнергетического наносекундного электронного пучка. Метод хорошо себя показал в экспериментально-производственном процессе радиационной обработки куриных яиц. Указанные замечания не умаляют полученные в диссертационной работе результаты, а подчеркивают сущность защищаемых научных положений и общего положительного впечатления от неё.

Заключение о соответствии диссертации установленным критериям.

Диссертация «Исследование эффективности радиационной поверхностной обработки пищевой продукции низкоэнергетическим наносекундным электронным пучком» Вазирова Р.А. на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1 Радиобиология является законченной научно-квалифицированной работой, в которой на основании полученных автором результатов разработаны научные основы нового метода радиационной обработки пищевой продукции, изложены новые научно обоснованные данные, имеющие существенное значения для развития радиационных технологий. Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (ред. от 20.03.2021), которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени, а ее автор Вазиров Р.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.1. Радиобиология.

Официальный оппонент,
кандидат технических наук
заведующий лабораторией Института
ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,



28.09.2021 А.А. Брызгин

Брызгин Александр Альбертович
Тел.: +7 (383) 329-43-91
Email: A.A.Bryazgin@inp.nsk.su
630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева,
д. 11, Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И.
Будкера Сибирского отделения Российской академии
наук (ИЯФ СО РАН)

Подпись к.т.н. А. А.Брызгин заверяю

Ученый секретарь

Резниченко А.В.

