

## РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА СУСПЕНЗИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Грачева А.Ю.<sup>1</sup>, Завьялов М.А.<sup>1</sup>, Павлов Ю.С.<sup>2</sup>, Прокопенко А.В.<sup>3</sup>, Филиппович В.П.<sup>1</sup>

1 - ВНИИ Технологии консервирования, Видное, Моск. обл., vit\_fill@rambler.ru

2 - Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН

3 - Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

В работе показаны современные тенденции развития радиационных технологий обработки пищевой продукции с помощью ускорителей заряженных частиц в России. Обозначена актуальность создания нормативно-правовой документации и определен круг задач для дальнейших исследований. Проанализирована возможность использования существующих радиационно-ускорительных комплексов для облучения пищевых продуктов. Проведены экспериментальные исследования по радиационному облучению суспензий микроорганизмов пучками электронов на ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70 дозами 3 кГр, 5 кГр, 7 кГр и 10 кГр и определены параметры радиационной устойчивости для водных суспензий микроорганизмов *E coli* и *Staphylococcus aureus*.

### **1. Введение. Перспективы использования ускорителей для радиационной обработки продуктов питания**

В последнее время в России отмечается возрождение интереса к радиационным технологиям, как к основе для развития инновационной экономики. Использование радиационных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности является общемировой тенденцией [1]. Радиационные технологии стерилизации и обработки пищевых продуктов, отличаются высокой степенью эффективности, высокой производительностью, точностью дозирования излучения, возможностью облучения упакованных продуктов, отсутствием высокого нагрева продукта и как следствие возможность стерилизации термолабильных объектов, а также низкими эксплуатационными расходами и соответствием принятым экологическим нормам. По сведениям международной комиссии по радиологической защите, только в Европе ежегодно на рынок поступает более 200 тысяч тонн облученных продуктов.

В СССР исследования по изучению возможностей радиационной обработки пищевых продуктов стартовали в начале 60-ых годов прошлого века. Исследования проводились в Институте биохимии им. А.Н. Баха АН, в научных институтах Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук СССР, в НИИ питания АМН и в НИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана. В то время ведущей организацией по исследованию

радиационного воздействия на продукты питания являлся ВНИИ Консервной и овощесушильной промышленности (ВНИИ Технологий консервирования), который имел гамма установку на основе  $^{60}\text{Co}$  с активностью облучателя 300 Кюри. Выполненные исследования [2,3] показали перспективность применения радиационного метода для пролонгации сроков годности пищевых продуктов. В исследованиях подчеркивалась актуальность использования электронно-лучевой технологии стерилизации [4].

В отличие от методов стерилизации гамма-излучением, электронное излучение не использует радиоактивные изотопы. Ускорители электронов появились ещё в 50-х годах прошлого века, но их использование в то время было экономически не оправданным. С развитием технологий создания сильноточных линейных ускорителей частиц (увеличение энергии, тока пучка и длительности импульса), стоимость электронно-лучевой стерилизации понизилась до вполне приемлемого уровня. Это вызвало интерес к электронно-лучевой технологии со стороны пищевой промышленности. Облучение происходит при энергии электронов, находящихся в диапазоне от 3 до 10 МэВ. При таких энергиях электронов отсутствует образование изотопов в пищевых продуктах и глубина проникновения электронов оказывается достаточной для их проникновения в продукт, упакованный в готовую к отгрузке тару.

Высокая мощность дозы электронного облучения позволяет воздействовать им в течение нескольких секунд, в отличие от многочасового воздействия на продукт гамма-излучением. Кратковременность воздействия ускоренных электронов снижает возможные эффекты окисления продукта, сводя к минимуму нарушения в материале, как продукта, так и упаковочного материала. На ускорителях имеется возможность варьировать энергию электронов и тормозного излучения. Снижение энергии приводит к минимизации повреждения продуктов при радиационной обработке. Кроме того, стоимость эксплуатации ускорителя и капитальные затраты на создание радиационно-ускорительного центра гораздо меньше.

В России с 1980 года разработаны и созданы для осуществления промышленных радиационно-технологических процессов более 200 ускорителей (без учета ускорителей для медицины, дефектоскопии и томографии). На сегодняшний момент в эксплуатации находятся более 60 линейных электронных ускорителей. В работе [5] представлен обзор разработанных и используемых электронных ускорителей для радиационно-технологических установок и показано экономическое преимущества использования ускорителей электронов для радиационных технологий.

## **2. Тенденции развития радиационных технологий в пищевой промышленности**

В настоящее время на международном уровне принят ряд документов регламентирующих радиационную обработку пищевых продуктов. Это ускорило внедрение радиационной обработки за рубежом. В настоящее время Россия, в отличие от Европы и США, находится на начальном этапе формирования рынка продуктов, обработанных с помощью использования радиационных технологий. Одной из существенных проблем в развитии данной отрасли является недостаточно развитая и устаревшая нормативно-правовая база, а также частичное или полное отсутствие необходимых стандартов для облучения определённых продуктов питания. Также не разработаны технические регламенты и технические условия радиационной обработки. Подготовкой современной нормативно правовой базы в России занимается ООО «Центр «Атоммед» [6].

Потребность в развитии и совершенствовании нормативной базы в сфере радиационных технологий обработки пищевых продуктов обусловлено следующими факторами:

- наличием и ростом объема распространения типовых радиационных технологий на рынке потребления пищевых и сельхозпродуктов;
- необходимостью введения нормирующих требований к продуктам, получаемым с применением радиационных технологий (определяемых общими медицинскими, санитарными, гигиеническими, потребительскими и иными требованиями);
- необходимостью обеспечения воспроизводимых типовых радиационных технологий в процессинге (требования к воспроизводимости дозы, условий облучения, режимов хранения продукции и т.п.)
- необходимостью обеспечения радиационной безопасности облучательных радиационных установок, технологических линий,
- требованиями унификации проектов, дизайна и оснащения радиационных установок, систем мониторинга и контроля облучения.

Жёсткие требования к регулированию процесса вызвали необходимость принятия генерального международного стандарта ISO 14470:2011. Новый стандарт обеспечивает соблюдение самых последних требований при облучении пищевых продуктов, которое используется для улучшения качества и безопасности технологий обработки пищевых продуктов. Основными целями стандарта ISO 14470:2011 являются: обеспечение требований по облучению пищевых продуктов в соответствии с

действующими нормами и практикой; обеспечение направлений технического соглашения между клиентом и оператором по облучению; создание системы документации для поддержки управления на процесс облучения продуктов питания. Таким образом, появляется возможность создания оптимальной нормативно-правовой базы по облучению продуктов питания.

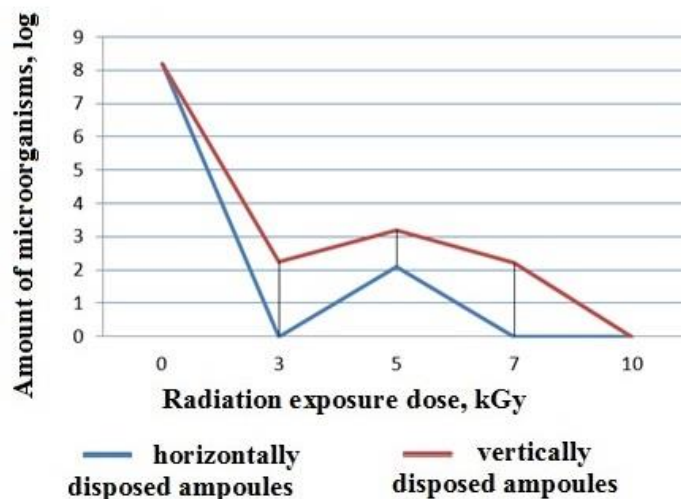
В России нормативно-правовая база промышленных радиационных технологий делится на следующие уровни: правовой уровень регулирования (внесение изменений в ряд федеральных законов, подготовку постановлений правительства и технические регламенты), технический уровень (лицензирование, стандартизация и подготовка СанПин) и технологический уровень (разработка приказов, руководств, технических инструкций, регламентов и комплектов документов). Основным стандартом по радиационной обработке продуктов питания разрабатываются в рамках разрешительной документации для таможенного союза Россия, Белоруссия и Казахстан на основе существующих ранее норм обеспечения радиационной безопасности и стандартов, принятых в Евросоюзе.

### **3. Экспериментальные исследования по радиационному облучению суспензий микроорганизмов пучками электронов**

Один из промышленных электронных ускорителей для радиационной обработке электронами находится в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской Академии Наук (ИФХЭ РАН). Ускоритель УЭЛВ-10-10-С-70 является многоцелевым источником ионизирующего излучения и предназначен для применения в промышленных радиационно-технологических процессах [7, 8]. В рамках подготовки к созданию проектов технических регламентов с 2013 года на данном ускорителе совместно с ВНИИ Технологий консервирования проводится серия исследований по облучению запаянных ампул с модельными водными растворами микроорганизмов электронным пучком с различными дозами облучения. Модельные среды позволяют определиться с предполагаемыми дозами воздействия и установить радиоустойчивость D10 для традиционных микроорганизмов. Большой интерес вызывает облучение сравнительно небольшими дозами до 10 кГр.

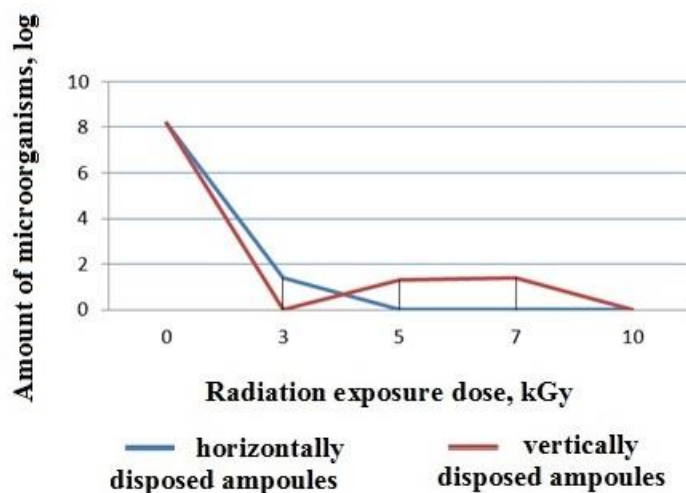
Ускоритель УЭЛВ-10-10-С-70 имеет энергию пучка электронов  $10 \pm 0,4$  МэВ и мощность дозы электронного излучения на расстоянии 1 м от фланца выпускного окна 3 кГр/с. Для транспортировки облучаемых образцов перед сканирующим пучком электронов в ускорителе используется круговой конвейер. Контроль за дозой

облучения осуществляется с помощью детекторов на основе полимерных плёнок однократного использования и спектрофотометра. Диапазон измерения поглощённой дозы варьируется в интервале от 5 до 50 кГр, погрешность не превышает 12%. Меньшие дозы можно оценить при интерполяции полученных результатов.



**Рис. 1. Выживаемость *E. coli* при обработке электронами**

(Зависимость количества микроорганизмов от поглощенной дозы облучения в кГр для горизонтально и вертикально расположенных ампул)



**Рис. 2. Выживаемость *Staphylococcus aureus* при обработке электронами**

(Зависимость количества микроорганизмов от поглощенной дозы облучения в кГр для горизонтально и вертикально расположенных ампул)

В четвёртом квартале 2013 года в ИФХЭ РАН на ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70 совместно проводилось облучение запаянных ампул с модельными растворами микроорганизмов диаметром 10 мм и высотой 60 мм различными дозами облучения. В исследовании использовалась грамотрицательная палочковидная бактерия *E. coli* с

размерами 1,1-1,5 × 2,0-6,0 мкм и гаммоположительные коки *Staphylococcus aureus* сферической формы диаметром 0,5-1,5 мкм. При исследовании использовались суточные культуры этих микроорганизмов растворенные в мясо-пептонном бульоне. Однократное облучение микроорганизмов проводили электронами с дозами 3, 5, 7, 10 кГр в двух положениях обрабатываемых ампул. Для уменьшения статистической ошибки в каждом эксперименте использовали по три образца культуры. Микробиологическое исследование облученных и контрольных образцов выполнялись на следующий день после облучения. Контрольные ампулы хранились в таких же условиях что и облученные. Микробиологические исследования проводили по ГОСТ 30726-2011 для *E. coli* и ГОСТ 10444.2-94 для *S. aureus* согласно которым, время культивирования микроорганизмов на сухом питательном агаре должно составлять 24 часа при температуре 37°C. Исследования проводились методом определения наиболее вероятного числа микроорганизмов. Результаты учитывались в каждом исследуемом образце для двух повторений. Результаты исследования представлены на рис. 1 для *E. coli* и рис.2 для *S. aureus*. На рисунках представлено в логарифмическом масштабе содержание выживших микроорганизмов от поглощённой дозы. Установлено, что культуры *E. coli* и *S. aureus*, подвергшиеся радиационному облучению отмирают на 80-100%. Горизонтальное положение образцов, при радиационном облучении наиболее эффективно по сравнению с вертикальным.

#### **4. Заключение**

В работе показаны современные тенденции развития радиационных технологий обработки пищевой продукции с помощью ускорителей заряженных частиц в России. Показана актуальность создания нормативно-правовой документации и определен круг задач для дальнейших исследований. Проанализирована возможность использования существующих радиационно-ускорительных комплексов для облучения пищевых продуктов. В ходе выполнения исследований на ускорителе УЭЛВ-10-10-С-70 установлены летальные доза для суспензий микроорганизмов бактерия *E. Coli* и *S. aureus*. Это позволяет оценивать дозу требуемую при облучении продуктов питания для радиационной стерилизации.

#### **Литература**

1. Food preservation by radiation // Radiation and agriculture, URL: <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull233/23305783336.pdf> – 2011, (дата обращения 13.12.13).

2. **Метлицкий Л.В., Рогачев В.И., Хрущев В.Г.** Радиационная обработка пищевых продуктов. – М.: «Экономика», 1967. – 159 с.
3. **Фрумкин М.Л., Ковальская Л.П., Гельфанд С.Ю.** // Технологические основы радиационной обработки пищевых продуктов. М: Пищевая промышленность, 1973. 408 с.
4. **Гельфанд С.Ю., Завьялов М.А., Петров А.Н. и др.** Современные аспекты радиационной обработки пищевых продуктов. Хранение и переработка сельхозсырья, №2, 2013, с. 25-31.
5. **Павлов Ю.С.** Российские электронно-лучевые технологии в 2013г. Научная сессия МИФИ-2013. Том 2. Проблемы фундаментальной науки. М., МИФИ, 2013, с. 126.
6. Проекты стандартов облучения // Фирма Атоммед, корпорация Росатом. [Москва, 2013]. URL:<http://Atommedcenter.ru> (дата обращения 28.11.2013).
7. **Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Фоменко Ю.Л., Поляков А.А.** Реализованные и разрабатываемые радиационные технологии в ИФХЭ РАН. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Техническая физика и автоматизация. Выпуск 67 (часть 1). М., ОАО «НИИТФА», 2013, с. 27-41.
8. **Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Доброхотов В.В., Павлов В.А.** Радиационный комплекс для изучения радиационно-химических превращений материалов и разработки радиационных технологий в ИФХЭ РАН. V Всероссийская конференция "Актуальные проблемы химии высоких энергий". Материалы конференции. М., РХТУ, 2012, с. 80-82.