

УДК 535.232.65 +543.4

**ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПЕРВИЧНЫХ ЭТАЛОНОВ
МОЩНОСТИ ПОГЛОЩЁННОЙ ДОЗЫ И ЭТАЛОНА
КОЛИЧЕСТВА ПАРАМАГНИТНЫХ ЦЕНТРОВ**

М.Б. Кувыкина, А.С. Лесков, В.П. Тенишев

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская обл.

*kmb@vniiftri.ru,
tenishev@vniiftri.ru*

В настоящей работе представлен обзор современного состояния обеспечения единства измерений поглощённой дозы ионизирующего излучения при обработке ионизирующим излучением пищевой продукции сельского хозяйства в Российской Федерации. Предложен способ измерения поглощённой дозы ионизирующего излучения в диапазоне до 1 кГр с помощью первичных Государственных эталонов мощности поглощённой дозы ГЭТ 209-2014 и количества парамагнитных центров ГЭТ 83-2017.

Ключевые слова: поглощённая доза, ионизирующее излучение, государственные эталоны, обработка, пищевая продукция, облучение, ЭПР-спектрометрия, радиационные технологии, парамагнитные центры.

**EPR-SPECTROMETRY DOSIMETRIC SYSTEM BASED
ON ABSORBED DOSE RATE STANDARD AND STANDARD
OF PARAMAGNETIC CENTERS QUANTITY**

M.B. Kuvykina, A.S. Leskov, V.P. Tenishev

FSUE "VNIIFTRI", Mendeleevo, Moscow region

*kmb@vniiftri.ru,
tenishev@vniiftri.ru*

This paper presents a review of the current state of ensuring the uniformity of measurements of the absorbed dose of ionizing radiation during processing the agricultural food products in the Russian Federation by ionizing radiation. A method is proposed for measuring the absorbed dose of ionizing radiation in the range up to 1 kGy using State primary standards of absorbed dose power GET 209-2014 and of quantity of paramagnetic centers GET 83-2017.

Key words: absorbed dose, ionizing radiation, state standards, processing, food products, radiation, EPR spectrometry, radiation technologies, paramagnetic centers.

Применение ионизирующего излучения для обработки пищевой и сельскохозяйственной продукции [1] требует новых и точных способов как кон-

троля над воздействием радиационного излучения на вещество, так и обеспечения качества продукции без его ухудшения в результате обработки ионизирующим излучением. Основным средством такого контроля является измерение поглощённой дозы (ПД) путём картирования в изделии с точным определением минимальных и максимально допустимых значений ПД непосредственно сразу же после радиационного воздействия. Правильное и точное измерение ПД обеспечивает надлежащее решение технологической задачи при стерилизации медицинских изделий, сохранение качества пищевой продукции при её радиационной обработке, радиационной стойкости материалов и т.п.

В таблице 1 приведены диапазоны поглощённых доз при облучении пищевой и сельскохозяйственной продукции (из мировой практики).

Таблица 1

Технологическая цель радиационной обработки	Диапазон доз, кГр		D_{\max} / D_{\min}
Задержка прорастания луковиц и клубней	0,03–0,15	0,03–0,1	3–5
Обеззараживание от насекомых	0,15–0,5	0,03–0,2	3–6
Уничтожение паразитов	0,25–1,0		4
Улучшение, убыстрение вызревания фруктов	0,03–0,15		5
Предотвращение заражения насекомыми, паразитами	0,07–1,00	1–1,3	14–1,3
Задержка гниения и порчи мяса	1,50–3,00	2,0–7,0	2–3,5
Увеличение срока хранения (мясо, ягоды, грибы и т.п.)	1,0–3,30		3,3
Уменьшение риска заражения болезнетворными микроорганизмами		1,00–7,00	7
Увеличение санитарных условий для специй и пряностей	до 10,00		3
Стерилизация упакованного мяса	25–70		
Стерилизация мяса, морепродуктов, домашней птицы и т.п.		30–50	1,6
Дезинфекция, обеззараживание отдельных добавок и ингредиентов		10–50	5

В таблице 2 представлены серийно выпускаемые СИ ПД.

Таблица 2

Детектор	Диапазон, кГр	Вид излучения	Погрешность, %
Плёночный (эталонный) СО ПД(Ф)Э-5/50 ГСО 7865-2000	5–50	γ , β , e	3–7

Продолжение таблицы 2

Детектор	Диапазон, кГр	Вид излучения	Погрешность, %
Плёночный (рабочий) СО ПД(Ф)Р-5/50 ГСО 7865-2000	5–50	γ, β, e	7–12
Плёночный (рабочий) СО ПД(Ф)Р-30/200 ГСО 7903-2001	30–200	γ, β, e	7–15
Плёночный (рабочий) СО ПД(Э)-1/10 ГСО 8916-2007	1–10	γ, β, e	7–15
Блочный (рабочий) СО ПД (ДТС)-0,05/10 ГСО 9447-2009	0,05–0,6 1–10	γ	3–7 7–15

Таким образом, в Российской Федерации нет утверждённых средств измерения ПД в РТ для диапазона 1–1000 Гр — основного диапазона поглощённых доз для применения радиационной обработки сельскохозяйственной продукции.

В настоящей работе предлагается способ хранения, передачи единиц мощности и ПД и измерения ПД с помощью первичных государственных эталонов мощности поглощённой дозы ГЭТ209-2014 [2] и количества парамагнитных центров ГЭТ 209-2014 в области радиационных технологий.

Сущность способа заключается в использовании метода ЭПР-спектрометрии с применением эталонных мер количества парамагнитных центров:

- облучение образцов эталонных мер количества парамагнитных центров по ПД на Госэталоне ГЭТ 209-2014 строго определёнными дозами в требуемом диапазоне ПД;
- аттестация Государственного первичного эталона единицы количества парамагнитных центров ГЭТ 83-2017 [3] по ПД ИИ облучёнными на Госэталоне ГЭТ 209-2014 эталонными образцами;
- калибровка рабочих эталонных мер количества парамагнитных центров по поглощённой дозе ИИ;
- калибровка рабочих ЭПР-спектрометров относительно аттестованного по поглощённой дозе Государственного первичного эталона единицы количества парамагнитных центров ГЭТ 83-2017;
- рутинные (регулярные) измерения поглощённых доз в облучаемой на радиационно-технологических установках продукции калиброванными по ПД рабочих ЭПР-спектрометров.

Значение поглощённой дозы D пропорционально числу парамагнитных центров в облучённом ионизирующим излучением ЭПР чувствительном образце, определяемом из соотношения:

$$D \sim k \cdot N = k \cdot \frac{A_D \cdot (\Delta H_D)^2}{A_{ref} \cdot (\Delta H_{ref})^2} \cdot N_{ref},$$

где N — количество парамагнитных центров в облучённом образце; A_D — амплитуда линии ЭПР облучённого образца; A_{ref} — амплитуда линии ЭПР эталонной меры; N_{ref} — количество парамагнитных центров в эталонной мере; ΔH_D , ΔH_{ref} — ширины линий ЭПР облучённого образца и эталонной меры соответственно, мТл; k — коэффициент пропорциональности, определяемый из градуировочной функции.

Количество парамагнитных центров и тем самым значение поглощённой дозы определяются амплитудой ЭПР-спектра и шириной ΔH линии ЭПР как облучённого образца, так и эталонной меры. Следовательно, разные материалы будут проявлять разный ЭПР-отклик на поглощённую дозу. Это обстоятельство приводит к необходимости калибровки ЭПР-спектрометров для обеспечения единства результатов измерений с обеспечением прослеживаемости к государственным эталонам.

Были проведены исследования различных ЭПР чувствительных материалов для широкого диапазона поглощённых доз, требуемых при дозиметрии в процессе радиационной обработки материалов в различных областях науки и техники.

В результате проведённых сравнительных исследований был произведён выбор ЭПР чувствительных веществ, подходящих для определения ПД. Изготовлены образцы и произведено их облучение различными дозами на источнике $Co-60$ в диапазоне 0,5–1000 Гр.

Полученные ЭПР-спектры исследованных веществ, постэффект, который наблюдался на промежутке времени от нескольких часов до 3 месяцев после облучения, а также вид зависимости сигнала ЭПР от величины поглощённой дозы позволили сделать вывод, что предложенный метод является перспективным в качестве основы для разработки СИ ПД для диапазона 1–1000 Гр.

Литература

1. Донченко С.И. и др. Метрологическое сопровождение научных разработок и промышленных технологий с применением интенсивных источников ионизирующих излучений / Труды II Международного научного форума «Ядерная наука и технологии». Алматы: 24–27 июня 2019 г.
2. Генералова В.В. и др. Государственный первичный специальный эталон единицы мощности поглощённой дозы интенсивного фотонного, электронного и бета-излучений для радиационных технологий ГЭТ 209-2014 // Альманах современной метрологии. 2015. № 5. С. 54–74.
3. Лесков А.С. Государственный первичный эталон единицы количества парамагнитных центров: вчера, сегодня, завтра // Альманах современной метрологии. 2019. № 1 (17). С. 35–43.