МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 34156— 2017

РУКОВОДСТВО ПО ДОЗИМЕТРИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр Учебно-научного производственного комплекса Московского физико-технического института (ООО «Научно-исследовательский центр УНПК МФТИ»)

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 7 июня 2017 г. № 99-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 сентября 2017 г. № 1195-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34156—2017 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 февраля 2019 г.

5 Настоящий стандарт подготовлен на основе применения ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51204—2012*

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

* Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 сентября 2017 г. № 1195-ст ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51204—2012 отменен с 1 февраля 2019 г.

© Стандартинформ, 2017

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

РУКОВОДСТВО ПО ДОЗИМЕТРИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ

Practice for dosimetry in gamma irradiation facilities for food processing

Дата введения — 2019—02—01

1 Область применения

1.1 В настоящем стандарте приводятся программа оценки качества монтажа облучателя и дозиметрические процедуры, которые следует выполнять при оценке операционного качества, оценке эксплуатационных характеристик и при повседневной эксплуатации установок для обработки пищевых продуктов ионизирующим излучением радионуклидных гамма-источников с целью гарантии того, что данный продукт получил заранее определенную поглощенную дозу радиации. В стандарте приводятся и другие процедуры, относящиеся к оценке операционного качества, оценке эксплуатационных характеристик и повседневной эксплуатации установок, которые могут влиять на поглощенную дозу в пищевом продукте. В данный стандарт не включена информация о действующих и регулятивных пределах доз для пищевых продуктов (см. [1]—[4]).

Примечания

1 Дозиметрия является только одним из компонентов полной программы гарантирования качества, определяющей приемлемые производственные технологии, которые должны использоваться для производства безопасных и полезных пищевых продуктов.

2 Дозиметрические процедуры, применяемые при обработке пищевых продуктов электронным пучком и рентгеновским (тормозным) излучением, описаны в [5].

1.2 Указания по выбору и калибровке дозиметрических систем и интерпретации измерений, поглощенных в продуктах доз, содержатся в [6] и [7]. По поводу использования конкретных дозиметрических систем см. [8]—[19]. Вопросы радиационной дозиметрии при облучении гамма-лучами и рентгеновскими лучами обсуждаются также в отчете [20].

1.3 Данный стандарт не ставит своей целью осветить все вопросы, имеющие отношение к безопасности работы при его применении, если таковые имеются. На пользователе стандарта лежит ответственность за разработку достаточных мер безопасности перед началом работ с учетом нормативных ограничений.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 **поглощенная доза D** (absorbed dose): Количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной в единице массы определенного вещества.

Примечание — Единица в системе СИ поглощенной дозы — грей (Гр), где 1 грей является эквивалентом поглощения 1 джоуля на килограмм массы данного вещества (1 Гр = 1 Дж/кг). Математическое определение этой зависимости — частное от деления $d\bar{\varepsilon}$ на dm, где $d\bar{\varepsilon}$ — среднее значение дифференциальной энергии, переданной ионизирующим излучением веществу дифференциальной массы dm (см. [21]).

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Издание официальное

2.2 **картирование поглощенной дозы** (absorbed-dose mapping): Измерение поглощенной дозы внутри технологической загрузки для получения одно-, двух- и трехмерного распределения поглощенной дозы в целях определения карты значений поглощенной дозы.

2.3 **калибровочная установка** (calibration facility): Комбинация источника ионизирующего излучения и связанной с ним измерительной аппаратуры, обеспечивающая при заданном месте расположения и внутри заданного материала получение воспроизводимой и равномерной поглощенной дозы или мощности поглощенной дозы, которая обладает свойством прослеживаемости к национальному или международному эталону и может использоваться для получения функции отклика или калибровочной кривой дозиметрической системы.

2.4 **компенсирующий имитатор продукта** (compensating dummy): Имитирующий макет продукта, вводимый в технологическую загрузку при стандартных технологических прогонах, когда загрузка содержит меньшее количество продукта, чем это предусмотрено в спецификации на конфигурацию продуктовой загрузки, или имитирующий макет продукта, размещаемый в начале и в конце технологического прогона для компенсации отсутствия основного продукта.

Примечание — Имитирующий макет продукта или фантомный материал может использоваться при операционной оценке как замена реального продукта, материала или вещества, подлежащих облучению.

2.5 **отклик дозиметра** (dosimeter response): Воспроизводимый количественный радиационный эффект, который вызывается в дозиметре воздействием определенной поглощенной дозы.

2.6 **набор дозиметров** (dosimeter set): Один или несколько дозиметров, применяемых для измерения поглощенной дозы в некотором конкретном месте, усредненные показания которых принимаются за измеренную поглощенную дозу в этом месте.

2.7 **дозиметрическая система** (dosimetry system): Система, используемая для определения поглощенной дозы, состоящая из дозиметров, измерительной аппаратуры и соответствующих референсных эталонов, а также методик применения данной системы.

2.8 **оценка качества монтажа** (installation qualification): Получение и документальное подтверждение данных о том, что облучатель вместе со связанным с ним оборудованием и измерительной аппаратурой был поставлен и смонтирован в соответствии со спецификацией.

2.9 **время облучения** (irradiation time): Период, в течение которого технологическая загрузка подвергается облучению.

2.10 **оценка операционного качества** (operational qualification): Получение и документальное подтверждение данных о том, что смонтированное оборудование и измерительная аппаратура работают в установленных пределах при выполнении установленных операционных процедур.

2.11 **оценка эксплуатационного качества** (performance qualification): Получение и документальное подтверждение данных о том, что смонтированное оборудование и измерительная аппаратура устойчиво работают в соответствии с заданными критериями, благодаря чему выпускаемый продукт соответствует спецификации.

2.12 **первичный эталонный дозиметр** (primary-standard dosimeter): Дозиметр наивысшего метрологического качества, утвержденный и поддерживаемый как эталон поглощенной дозы центром национальных или международных эталонов (см. [6]).

2.13 **технологическая загрузка** (process load): Объем материала с заданной конфигурацией загрузки продукта, облучаемый как единый объект.

2.14 **технологический прогон** (production run): Серия технологических загрузок, состоящих из материалов и продуктов, имеющих сходные характеристики поглощения излучения, которые облучаются последовательно в установленном диапазоне поглощенной дозы.

Примечание — Термин применим в случае облучения непрерывного потока или в режиме перемещения с остановками.

2.15 **референсный эталонный дозиметр** (reference-standard dosimeter): Дозиметр высокого метрологического качества, используемый в качестве эталона для выполнения измерений, согласованных с измерениями, проведенными с помощью первичных эталонных дозиметров, и обладающих по отношению к последним свойством метрологической прослеживаемости.

2.16 **функция отклика** (response function): Математическое представление связи между откликом дозиметра и поглощенной дозой для данной дозиметрической системы.

2.17 **рабочий дозиметр** (routine dosimeter): Дозиметр, калиброванный по первичному или референсному эталонному дозиметру или эталонному дозиметру-переносчику и используемый при повседневных измерениях поглощенной дозы (см. [6]).

2.18 **модель продукта** (simulated product): Материал, свойства которого ослаблять и рассеивать излучение близки к аналогичным свойствам облучаемого продукта, материала или вещества.

Примечание — Модель продукта используется при оценке операционного качества для замены реальных продуктов, материалов или веществ. Когда модель продукта применяется в обычных производственных прогонах, ее иногда называют «компенсирующим имитатором». При применении для построения карты поглощенной дозы модель продукта иногда называют «фантомным материалом».

2.19 **эталонный дозиметр-переносчик** (transfer-standard dosimeter): Дозиметр, часто являющийся референсным эталонным дозиметром, пригодный для транспортировки между различными местоположениями, применяющийся для сравнения результатов измерения поглощенной дозы (см. [6]).

Примечание — Определения других терминов, используемых в стандарте и имеющих отношение, к радиационным измерениям и дозиметрии, также даны в [22]. Определения в [22] совместимы с определениями в [21]; этот документ может использоваться в качестве альтернативного источника для справок.

3 Радиационная обработка

3.1 Обработка пищевых продуктов ионизирующим излучением, таким как гамма-лучи от изотопа ^{60}Co или ^{137}Cs, может проводиться с различными целями, как-то: борьба с паразитами и патогенными микроорганизмами, уничтожение насекомых, подавление роста и созревания, продление срока хранения. Технические требования к облучению пищевых продуктов почти всегда включают в себя минимальный или максимальный пределы поглощенной дозы, а иногда оба этих норматива: минимальный предел устанавливают для того, чтобы гарантировать ожидаемый полезный эффект, а максимальный предел устанавливают с целью избежать порчи продукта или упаковки. В конкретных случаях одно или оба эти значения могут быть предписаны правительственными документами, в основе которых лежат результаты научных исследований. Таким образом, прежде чем будет проведено облучение пищевого продукта, необходимо определить, может ли установка для облучения обеспечить получение поглощенной дозы в требуемых пределах. Необходимо также осуществлять контроль и документальную регистрацию поглощенной дозы во время каждого производственного прогона для проверки соответствия техническим условиям обработки с предусмотренным уровнем достоверности.

Примечание — Комиссия ООН по разработке продовольственных стандартов (Codex Alimentarius Commission) разработала международный Общий стандарт и Свод правил, относящиеся к применению ионизирующей радиации при обработке пищевых продуктов, в которых особо подчеркивается роль дозиметрии с точки зрения правильного применения радиационной обработки [23].

3.2 Радиационная обработка некоторых пищевых продуктов ведется в охлажденном или замороженном состоянии. Следовательно, дозиметры, применяемые при обычной обработке, должны быть выбраны в соответствии с возможностью их функционирования в этих температурных условиях. Более того, температура дозиметра в ходе облучения должна быть достаточно стабильной для того, чтобы была возможность ввести поправки на температурную зависимость отклика дозиметра. Для того чтобы избежать влияния температурных градиентов на отклик дозиметра и вытекающей отсюда необходимости поправок, вызванных этим влиянием, можно применить какие-либо методы изоляции дозиметра от температурных градиентов.

Примечание — Более детальное обсуждение радиационной обработки различных пищевых продуктов приводится в [1]—[4] и [23—33].

3.3 Для того чтобы гарантировать облучение продукта в пределах установленной дозы, обычное управление процессом требует применения стандартной дозиметрии продуктов, документально оформленных действий с продуктом (до, во время и после облучения), стабильной ориентации продуктов во время облучения, мониторинга наиболее важных рабочих параметров и документирования всех относящихся к этому процессу видов работ.

4 Характеристики источника излучения

4.1 Источник излучения, используемый в установке, рассматриваемой в данном стандарте, состоит из герметизированных элементов ^{60}Co или ^{137}Cs, которые, как правило, представляют собой линейные стержни или «карандаши», образующие планарные или цилиндрические решетки (одну или более).

4.2 Источник на изотопе ^{60}Co излучает фотоны с энергиями порядка 1,17 и 1,33 МэВ примерно в равных количествах. Источник на изотопе ^{137}Cs излучает фотоны с энергией порядка 0,662 МэВ [34].

4.3 Периоды полураспада для ^{60}Co и ^{137}Cs составляют приблизительно 5,2708 и 30,07 лет соответственно [35, 36].

4.4 В промежутке между процедурами обновления, удаления и перераспределения активных элементов единственным фактором, изменяющим характеристики источника, является непрерывное уменьшение активности, вызванное радиоактивным распадом.

5 Типы установок

5.1 Конструкция облучателя влияет на поглощенную дозу в продукте. Следовательно, конструкция облучателя должна учитываться при выполнении измерений поглощенной дозы (см. разделы 7—10).

5.2 Установки для обработки пищевых продуктов могут быть разделены на категории по режиму работы (например, режим с группировкой или непрерывный режим), по типу конвейерной системы (например, непрерывный конвейер или шаффл-двелл) или по типу облучателя (например, с облучением в контейнере или в сплошном потоке).

5.2.1 Пищевые продукты могут двигаться к месту их облучения в установке тогда, когда источник полностью экранирован (режим с группировкой) или тогда, когда источник не экранирован (непрерывный режим).

5.2.2 Пищевые продукты могут продвигаться мимо источника с постоянной и регулируемой скоростью (непрерывный конвейерный режим) либо вместо этого совершать серии дискретных управляемых перемещений, разделенных промежутками времени, в течение которых технологическая загрузка неподвижна (шаффл-двелл).

5.2.3 Для большинства коммерческих облучателей технологическая загрузка обычно совершает один или более проходов с каждой стороны решетки, образуемой облучающими элементами.

5.2.3.1 При движении технологической загрузки мимо облучающей решетки могут быть два варианта конфигурации: протяженность источника в вертикальном направлении превышает вертикальный размер технологической загрузки (источник перекрывает загрузку) или вертикальный размер технологической загрузки больше, чем вертикальная протяженность источника (продукт перекрывает источник). В последнем варианте технологическая загрузка обычно двигается мимо источника на двух или более уровнях.

5.2.3.2 В облучателях сплошного потока продукты, такие как зерно или мука, свободным потоком двигаются мимо источника.

5.3 Ввиду существующих ограничений механической скорости в тех случаях, когда требуется облучение малыми дозами, можно использовать различные методы уменьшения мощности поглощенной дозы при облучении. К таким методам принадлежат следующие: частичное использование источника (например, подъем в рабочее положение только одной из нескольких решеток источника), использование ослабителей и облучение на больших расстояниях от источника.

6 Дозиметрические системы

6.1 Описание классов дозиметров

Дозиметры можно разделить на четыре основных класса в соответствии с их качеством и областью применения: первичный эталон, референсный эталон, эталон-переносчик и рабочий дозиметр. В руководстве [6] содержится информация по выбору дозиметрических систем для различных применений. Все классы дозиметров за исключением первичных эталонов нуждаются в калибровке перед их применением.

6.1.1 Первичные эталонные дозиметры

Первичные эталонные дозиметры создаются и поддерживаются лабораториями национальных эталонов с целью калибровки окружающих радиационных условий (полей), а также калибровки других классов дозиметров. Двумя наиболее широко применяемыми первичными эталонными дозиметрами являются ионизационные камеры и калориметры.

6.1.2 Референсные эталонные дозиметры

Референсные эталонные дозиметры используют для калибровки окружающих радиациационных условий и рабочих дозиметров. Референсные эталонные дозиметры могут также использоваться в

качестве рабочих дозиметров. Примеры референсных эталонных дозиметров с указанием диапазонов измеряемых значений поглощенной дозы приведены в руководстве [6].

6.1.3 Дозиметрические эталоны-переносчики

Дозиметрические эталоны-переносчики представляют собой специально отобранные дозиметры, применяемые для переноса информации о поглощенной дозе от аккредитованной или национальной лаборатории эталонов к установке для облучения с целью обеспечения прослеживаемости для этой установки. Эти дозиметры требуют тщательного соблюдения условий обращения с ними, указанных выпускающей их лабораторией. Дозиметрические эталоны-переносчики могут быть отобраны из референсных эталонных дозиметров или из рабочих дозиметров с учетом критериев, указанных в руководстве [6].

6.2 Выбор дозиметрических систем

Дозиметрические системы, удобные для предполагаемой радиационной обработки на данной установке, выбирают, используя критерии, перечисленные в [6]. В процессе выбора для каждой дозиметрической системы учитывают зависимость ее характеристик от влияющих факторов, а также свойственные ей неопределенности измерения.

6.3 Калибровка дозиметрических систем

Прежде чем использовать дозиметрическую систему, калибруют ее в соответствии с эксплуатационной документацией, в которой приводят подробности процедуры калибровки и требования по обеспечению качества калибровки. Процедуру калибровки регулярно повторяют через определенные промежутки времени с тем, чтобы поддерживать точность измерений в заданных пределах. Методы калибровки поглощенной дозы описаны в [6]. Облучение является весьма важной компонентой калибровки дозиметрической системы.

6.3.1 Калибровочное облучение референсных эталонных дозиметров или дозиметров-переносчиков

Калибровочные облучения должны выполнять в аккредитованной лаборатории или на штатной калибровочной установке, отвечающей требованиям руководства [37]. Лаборатория или установка должны обеспечивать поглощенную дозу (или мощность поглощенной дозы), измерения которой обладают свойством прослеживаемости к национальным или международно признанным эталонам.

6.3.2 Калибровочное облучение рабочих дозиметров

Калибровочные облучения могут выполняться согласно 6.3.1 на промышленных либо на исследовательских установках вместе с референсными эталонными дозиметрами или дозиметрическими эталономи-переносчиками, которые обеспечивают прослеживаемость измерений к национальным или международно признанным эталонам. Эта практика также применима в том случае, когда референсные эталонные дозиметры используются в качестве рабочих дозиметров.

6.3.3 Калибровка и поверка измерительной аппаратуры

Следует установить и выполнять процедуры калибровки и периодической проверки правильной работы измерительной аппаратуры, чтобы быть уверенным в том, что она функционирует в соответствии с техническими требованиями.

6.3.3.1 Для того чтобы была гарантия того, что вся измерительная аппаратура, применяемая при анализе дозиметров, периодически калибруется, программу калибровки оформляют в виде документа. Калибровки должны прослеживаться к национальным или международным эталонам, находящимся в соответствующих лабораториях.

6.3.3.2 Работоспособность измерительной аппаратуры проверяют после любой ее модификации или сервисного обслуживания, а также перед проведением калибровки дозиметрической системы с использованием этой аппаратуры. Эта проверка может проводиться с использованием эталонов, таких, например, как фильтры с калиброванной оптической плотностью, узкополосные фильтры, меры толщины, поставляемые изготовителем оборудования или национальной лабораторией эталонов или аккредитованной лабораторией эталонов.

6.3.3.3 Необходимо принимать во внимание требования [6] и соответствующих стандартов по дозиметрической системе, а также указания конкретных руководств по калибровке и поверке применяемых измерительных приборов.

7 Оценка качества монтажа

7.1 Цель оценки

Назначение программы оценки качества монтажа заключается в том, чтобы продемонстрировать, что облучатель и связанное с ним технологическое оборудование, а также измерительная аппаратура были поставлены и установлены в соответствии с их спецификациями. Оценка качества монтажа включает в себя заключение о состоянии облучателя, вспомогательного технологического оборудования и измерительной аппаратуры, выработку методик испытаний, эксплуатации и калибровки, необходимых для их использования, и проверку правильности их функционирования в соответствии со спецификацией. Эффективная программа оценки качества монтажа будет гарантировать надежную и правильную работу облучателя, при которой обеспечивается облучение продукта с созданием требуемой поглощенной дозы.

7.2 Документация на оборудование

Составляют описания облучателя и связанного с ним технологического оборудования, а также измерительной аппаратуры, входящей в состав установки. Эти документы должны сохраняться в течение всего срока эксплуатации установки. Минимальный пакет документов должен включать в себя следующее.

7.2.1 Описание расположения облучателя в помещениях исполнителя работ, с указанием специальных зон и технических средств, предназначенных для обеспечения раздельного хранения необлученных и облученных продуктов.

7.2.2 Описание технологической процедуры облучения.

7.2.3 Описание конструкции и работы оборудования для транспортировки продукта.

7.2.4 Описание материалов и конструкции всевозможных контейнеров, применяемых для удержания пищевых продуктов в процессе облучения.

7.2.5 Описание системы управления процессом.

7.2.6 Описание всех изменений, имевших место в процессе монтажа излучателя и в последующем.

7.3 Процедуры тестирования, эксплуатации и калибровки

Устанавливают и обеспечивают выполнение стандартных процедур тестирования, эксплуатации и калибровки (если необходимо) смонтированного облучателя и связанного с ним технологического оборудования и измерительной аппаратуры.

7.3.1 Методики испытаний

Эти процедуры описывают методы испытаний, применяемые для того, чтобы гарантировать работу установленного облучателя, связанного с ним технологического оборудования и измерительной аппаратуры в соответствии со спецификацией.

7.3.2 Методики эксплуатации

Эти процедуры описывают, как управлять облучателем и связанным с ним технологическим оборудованием, и измерительной аппаратурой в процессе эксплуатации.

7.3.3 Методики калибровки

Эти процедуры описывают методы периодически проводимых калибровок и поверок, которые гарантируют постоянную работу установленного технологического оборудования и измерительной аппаратуры в соответствии со спецификацией. Частота калибровки для некоторых видов оборудования и измерительных приборов может устанавливаться руководящими органами. Для некоторых видов оборудования и измерительных приборов, возможно, потребуется обеспечить прослеживаемость к национальным эталонам или к эталонам аккредитованной лаборатории.

7.4 Тестирование технологического оборудования и измерительной аппаратуры

Проверяют, что установленное технологическое оборудование и измерительная аппаратура работают в соответствии со своими проектными спецификациями согласно тестовым процедурам 7.3.1. Если необходимо, проверяют, что оборудование и измерительная аппаратура прокалиброваны в соответствии с процедурами калибровки, как это требуется в 7.3.3

7.4.1 Для проверки удовлетворительной работы облучателя в соответствии с проектной спецификацией проводят тестирование всего технологического оборудования. Документируют все результаты тестирования.

7.4.2 Тестируют работу измерительной аппаратуры с тем, чтобы гарантировать, что она функционирует в соответствии со спецификациями. Документируют все результаты тестирования.

7.4.3 Если во время оценки качества монтажа производились какие-либо модификации технологического оборудования или измерительной аппаратуры, проводят повторное тестирование.

8 Оценка операционного качества

8.1 Цель оценки

Целью дозиметрии при оценке операционного качества установки с гамма-облучателем является получение исходных данных для оценки эффективности установки, предсказуемости и воспроизводимости (в некотором диапазоне условий эксплуатации) каждого набора параметров облучателя и набора параметров процесса облучения, использование которых предполагается при облучении продукта. Поглощенная доза, получаемая любой частью продукта в технологической загрузке, зависит как от параметров облучателя, так и от параметров технологического процесса.

8.1.1 Примерами параметров облучателя являются активность источника радиации, геометрия источника, расстояние между продуктом и источником, геометрия облучения (например, одно- или двустороннее облучение, многократное прохождение) и технологические маршруты.

8.1.2 Примерами технологических параметров являются продолжительность облучения продукта, скорость конвейера, состав и плотность продукта и конфигурация загрузки продукта.

8.2 Картирование поглощенной дозы

Дозиметрию проводят, во-первых, с целью установления связи между поглощенной дозой в однородных технологических загрузках и параметрами облучателя и технологического процесса, во-вторых, с целью получения данных о вариациях поглощенной дозы при статистических флуктуациях параметров технологического процесса в типовых условиях его проведения, и в-третьих, с целью измерения распределения поглощенной дозы в однородных материалах, т. е. в материалах с однородной объемной плотностью, таких как зерна (например, пшеницы) или картон.

8.2.1 Составляют карту распределения поглощенной дозы при трехмерном размещении набора дозиметров в технологической загрузке, содержащей однородный материал [38, 39]. Количество однородного материала в этой технологической загрузке должно быть такое же, как при типовых технологических загрузках, или же иметь максимально допустимый (по проекту) для технологической загрузки объем.

8.2.1.1 Выбирают варианты размещения дозиметров с целью определения положения точек максимума и минимума поглощенной дозы (для примера см. рисунок 1). Помещают дополнительные наборы дозиметров в этих точках и меньшее количество дозиметров в тех местах, где ожидается получение промежуточных значений поглощенной дозы. Дозиметрические данные по ранее прошедшим оценку операционного качества облучателям той же конструкции или вычисления с использованием математических моделей (см. [40]) могут дать полезную информацию для определения числа и расположения дозиметров, используемых в данной оценке операционного качества.

Примечание — Для увеличения пространственного разрешения на карте поглощенных доз могут использоваться дозиметрические полоски или листы в тех случаях, когда использование индивидуальных дозиметров не дает приемлемых результатов.

8.2.2 Картируют достаточное число технологических загрузок с целью получения оценки изменчивости значений поглощенной дозы и их распределения. Дозиметрические данные по ранее прошедшим оценку операционного качества облучателям той же самой конструкции могут предоставить полезную информацию при определении необходимого числа технологических загрузок для данной оценки операционного качества.

8.2.3 Количество технологических загрузок, предшествующих картируемой технологической загрузке, как и количество следующих за ней технологических загрузок, должны быть достаточными, чтобы эффективно имитировать заполнение облучателя однородным продуктом.

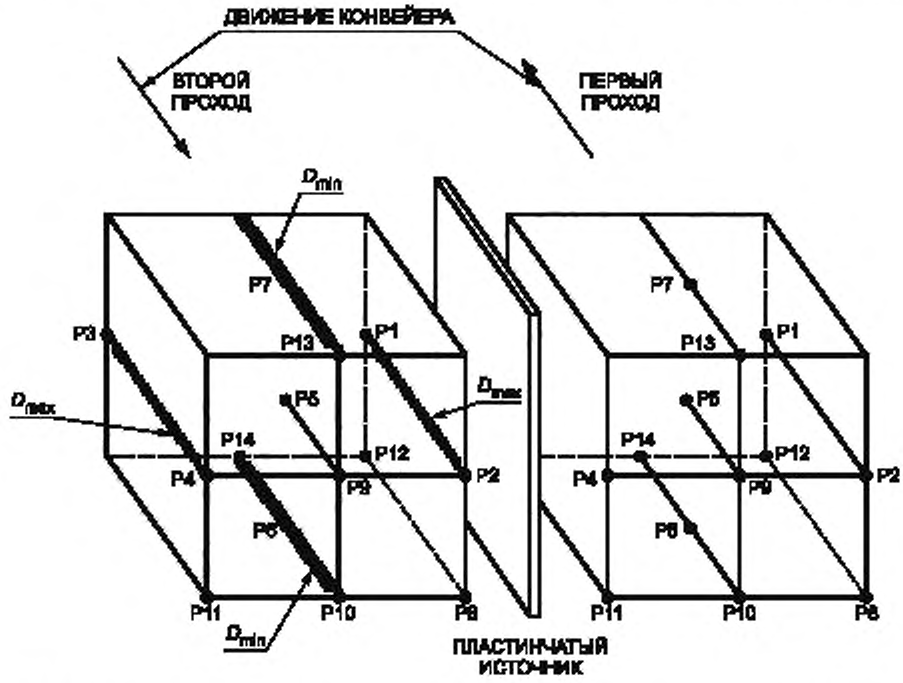
8.2.4 Если установка находится в режиме подготовки к процессу облучения технологических загрузок, в состав которых входят компоненты с различной плотностью, то проводят картирование поглощенной дозы во всем диапазоне ожидаемых плотностей. Это необходимо, поскольку различия в объемной плотности технологической загрузки могут повлиять на значения максимальной и минимальной поглощенных доз, и расположения точек экстремума, что в свою очередь может изменить коэффициент неравномерности дозы.

8.2.4.1 Когда продукты с различной плотностью в одно и то же время находятся в облучателе, на распределение поглощенной дозы в любом из продуктов может повлиять то обстоятельство, что свойства ослабления и рассеяния излучения в других продуктах отличаются от аналогичных свойств данного

продукта. Величину этого эффекта можно оценить путем картирования поглощенной дозы в первой и последней технологических загрузках при двух последовательных технологических прогонах однородных продуктов с различной плотностью (см. 10.2.2 и 10.2.3). Карта поглощенной дозы в первой технологической загрузке, входящей в пустой облучатель, даст информацию о максимальной поглощенной дозе, которую можно ожидать, когда облучатель частично заполнен.

8.2.5 Распределение мощности поглощенной дозы и поглощенной дозы в продукте может меняться при различных установках таймера на время прохождения технологической загрузки по своему маршруту в поле облучения. В ряде случаев, например, когда облучатель работает с максимальной механической скоростью, прямое масштабирование от одной поглощенной дозы к другой путем изменения установки таймера может оказаться необоснованным. Этот эффект должен быть рассмотрен и оценен количественно.

8.2.6 Для гарантии того, что продукт получил от источника поглощенную дозу, находящуюся в заранее установленных пределах, необходимо рассмотреть и оценить количественно вклады в поглощенную продуктом дозу во время приближения продукта к месту облучения и во время удаления от него.



Примечание — Два прохода прямоугольной технологической загрузки, по одному с каждой стороны стационарного пластинчатого гамма-источника. Штриховкой показаны вероятные области максимальной и минимальной поглощенных доз после второго прохода. Буквами Р (с номерами) показаны положения дозиметров, которые могли бы использоваться для картирования поглощенной дозы в процессе оценки операционного качества.

Рисунок 1 — Пример расположения точек максимальной и минимальной поглощенных доз в типичной технологической загрузке [41]

8.2.7 При изменении любого из параметров облучателя (см. 8.1.1) при обычной обработке продукта (раздел 10) повторяют процедуры дозиметрии и картирование поглощенной дозы (8.2.1—8.2.6).

8.2.8 Процедуры картирования поглощенной дозы, рассмотренные в этом разделе, могут оказаться невыполнимыми для некоторых типов облучателей сплошного потока. В таких случаях минимальную и максимальную поглощенные дозы необходимо оценивать, используя подходящее число дозиметров, случайным образом смешанных с продуктом и переносимых с ним через зону облучения. Для получения

статистически значимых результатов должно использоваться достаточное количество дозиметров. Приемлемой альтернативой может служить определение минимальной и максимальной поглощенных доз путем вычислений [26, 29].

9 Оценка технологического качества

9.1 Цель оценки

Пределы значений минимальной и максимальной поглощенных доз почти всегда зависят от цели, с которой производится облучение пищевых продуктов. Для конкретных целей один или оба указанных предела могут устанавливаться правительственными постановлениями. При оценке технологического качества роль дозиметрии заключается в том, чтобы определить подходящие параметры процесса (включая установки таймера, скорость конвейера и конфигурацию загрузки продукта), при которых могут быть выполнены требования в отношении поглощенной дозы для данного продукта. Это достигается путем картирования поглощенной дозы (см. 9.3) в технологической загрузке для конкретного продукта и определенных конфигураций загрузки. Целью картирования является определение значений минимальной и максимальной поглощенных доз, положений точек, где они достигаются, и их связи со значениями поглощенной дозы в тех точках, которые используются для мониторинга в процессах обычной повседневной обработки продукта.

9.2 Конфигурация загрузки продукта

Конфигурация загрузки продукта в процессе загрузки должна устанавливаться для каждого типа продукта. Документация для этой конфигурации загрузки должна включать в себя спецификации параметров, которые определяют однородность технологической загрузки и таким образом влияют на распределение поглощенной дозы. Примерами таких параметров являются размеры продукта, масса продукта, плотность продукта и ориентация продукта в поле излучения.

9.3 Картирование поглощенной дозы в продукте

9.3.1 Положения точек минимальной и максимальной поглощенных доз в продукте

9.3.1.1 Устанавливают положения областей минимальной и максимальной поглощенных доз для выбранной конфигурации загрузки продукта. Это осуществляется путем размещения набора дозиметров по интересующему объему для одной или более технологических загрузок. Выбирают схему размещения дозиметров для идентификации положения экстремумов поглощенной дозы, используя при этом данные, полученные при картировании в ходе оценки операционного качества (см. 9.2), или теоретические расчеты (см. [40]). Увеличивают количество дозиметров в ожидаемых областях минимальной и максимальной доз, одновременно уменьшая их количество в тех областях, где ожидается промежуточное значение поглощенной дозы. Полезная информация может быть получена также при использовании дозиметрических пленок в виде полосок или листов. Дозиметры, применяемые при картировании и при повседневном мониторинге дозы, не обязательно должны быть одного и того же типа.

9.3.1.2 В технологическую загрузку, содержащую пустоты или неоднородный продукт, включают наборы дозиметров, размещенных в тех местах, где нарушения однородности состава или плотности могут повлиять на области минимальной и максимальной поглощенных доз.

9.3.2 Вариации поглощенной дозы

9.3.2.1 При картировании дозы в технологической загрузке с конкретной конфигурацией необходимо уделить внимание возможным вариациям поглощенной дозы, измеренной в соответствующих друг другу точках различных технологических загрузок. Вариации поглощенной дозы можно определить путем картирования распределения поглощенной дозы в нескольких технологических загрузках, имеющих одну и ту же конфигурацию загрузки продукта, при одних и тех же условиях облучения.

9.3.2.2 Для определения вариаций поглощенной дозы помещают наборы дозиметров в нескольких технологических загрузках в ожидаемых областях минимальной и максимальной поглощенных доз. Вариации измеренных значений минимальной и максимальной поглощенных доз отражают, например вариации в конфигурации продуктовой загрузки (за счет сдвигов содержимого технологической загрузки во время движения через облучатель), объемной плотности технологической загрузки, флуктуаций значений параметров процесса и неопределенности, присущей дозиметрической системе.

9.3.3 Переходные эффекты

Определяют, является ли поглощенная доза, полученная при перемещении источника или технологических загрузок, малой величиной по отношению к общей поглощенной дозе. Если это требование выполняется, поглощенную дозу можно прямо связать с установкой таймера и, таким образом, необходимые изменения поглощенной дозы можно легко получить, изменяя установку таймера. Если указан-

ное требование не выполняется, картирование поглощенной дозы необходимо произвести, используя такую установку таймера, которая, по оценке, требуется для повседневных технологических прогонов; картирование повторяют, если понадобилось существенно изменить установку таймера.

Примечание — При использовании малых значений поглощенной дозы, например для задержки прорастания лука и картофеля, переходная доза за счет движения конвейерной системы может быть значительной и должна приниматься в расчет при проектировании облучателя, предназначенного для таких применений.

9.3.4 Точки набора референсной дозы

Если положения экстремумов поглощенной дозы, установленные при картировании поглощенной дозы (9.3.1), неудобны для доступа к ним в ходе технологических прогонов, для мониторинга поглощенной дозы в обычном повседневном процессе обработки продукта можно использовать альтернативные точки. Должна быть установлена и задокументирована связь между значениями поглощенной дозы в этих альтернативных референсных точках и в экстремумах поглощенной дозы. Эта связь должна быть воспроизводимой.

9.3.5 Установка таймера или скорости конвейера

9.3.5.1 Результаты измерений при картировании поглощенной дозы используют для определения установки таймера или скорости конвейера в ходе технологического прогона. Это дает гарантию, что будут выполнены предписанные требования к поглощенной дозе внутри продукта.

9.3.5.2 Учитывая статистическую природу измерений поглощенной дозы и собственные вариации радиационного процесса (см., например 9.3.2), устанавливают такие параметры процесса, включая установку таймера, чтобы поглощенная доза была больше любой предписанной минимальной дозы и меньше любой предписанной максимальной дозы [29, 41, 42].

9.3.6 Неприемлемый коэффициент неравномерности дозы

9.3.6.1 Если после проведения процедуры картирования дозы по 9.3.1 выясняется, что коэффициент неравномерности дозы для продукта недопустимо велик, т. е. больше чем отношение предписанных предельных значений максимальной и минимальной поглощенных доз, принимают необходимые меры для уменьшения этого отношения до приемлемого значения.

9.3.6.2 Для улучшения равномерности поглощенной дозы используют такие меры как перестановка элементов источника, применение ослабителей или компенсирующего макета (имитатора), облучение с четырех сторон, вращение технологической загрузки во время облучения, увеличение расстояния между источником и продуктом. При использовании облучателей непрерывного потока равномерность поглощенной дозы можно улучшить регулировкой дефлекторов, управляющих потоком продукта через зону облучения.

9.3.6.3 Если допустимый коэффициент неравномерности не удается получить путем изменения других параметров, может оказаться необходимым изменить конфигурацию технологической загрузки.

9.3.7 Изменения в облучателе

Если внесены изменения в оборудование или режимы технологического процесса, которые могли бы повлиять на значения или расположение экстремумов поглощенной дозы, то повторяют картирование поглощенной дозы в объеме, необходимом для выявления эффектов, вызванных этими изменениями. Ориентировкой для определения необходимого объема исследований распределения поглощенной дозы могут служить дозиметрические данные, полученные в процессе оценки операционного качества (раздел 8).

9.3.8 Охлажденные или замороженные продукты

9.3.8.1 Построение карты поглощенной дозы может выполняться на модели продукта при комнатной температуре. При этом требуется, чтобы не было изменения каких-либо параметров (кроме температуры), которые способны влиять на поглощенную дозу во время обработки охлажденного или замороженного пищевого продукта. Построение карты дозы для модели продукта включает размещение одного или большего числа дозиметров в референсной точке, относительно которой известно, что она изолирована от градиентов температуры в реальном продукте. Рабочие дозиметры во время обычной повседневной обработки охлажденного или замороженного продукта должны быть помещены именно в указанной референсной точке.

9.3.8.2 Построение карты поглощенной дозы для пищевого продукта может выполняться при температуре, до которой пищевой продукт будет охлажден или заморожен во время его реальной обработки, с использованием такой дозиметрической системы, которая имеет известные характеристики при предусмотренной температуре обработки. Температура пищевых продуктов во время облучения должна поддерживаться относительно постоянной (например, путем использования теплоизолированной тары).

9.3.8.3 На температурную зависимость отклика дозиметра может влиять величина поглощенной дозы. В таких случаях погрешность, вносимая при корректировке температурной зависимости, может быть значительной. Чтобы избежать внесения погрешности, рабочие дозиметрические системы должны калиброваться при той же температуре, при которой пищевой продукт будет облучаться.

9.3.9 Облучатели непрерывного потока

Построение карты поглощенной дозы согласно 9.3.1 может оказаться невозможным для продуктов, проходящих через зону облучения сплошным потоком. В этом случае минимальную и максимальную поглощенные дозы следует оценивать путем использования необходимого числа дозиметров, размещенных случайным образом и перемещаемых вместе с продуктом через зону облучения [26]. Необходимо использовать число дозиметров, достаточное для получения статистически значимых результатов. Приемлемой альтернативой может служить определение минимальной и максимальной поглощенных доз путем вычислений [26,29].

10 Повседневная обработка продукта

10.1 Управление процессом

Для того чтобы показать, что процесс облучения является управляемым, необходимо уделить внимание всем параметрам процесса, которые могут повлиять на поглощенную дозу (10.2), а также правильному использованию повседневной технологической дозиметрии (11.3). Кроме того, применение радиационно-чувствительных индикаторов может помочь в инвентаризации продуктовых запасов (10.4).

10.2 Параметры процесса

10.2.1 Общие положения

Прежде чем приступить к обработке продуктов, устанавливают и документируют перечень параметров рабочего процесса, которые позволяют управлять процессом и проводить мониторинг (например, время облучения, скорость конвейера, конфигурация загрузки продукта). Эти параметры устанавливают в ходе оценки эксплуатационных характеристик, учитывая падение активности источника с тем, чтобы гарантировать облучение каждой технологической загрузки в соответствии со спецификацией. Если параметры процесса выходят за установленные пределы, принимают необходимые меры.

10.2.2 Оконечные технологические загрузки

Распределение поглощенной дозы и значения минимальной и максимальной поглощенных доз в первой и последней технологических загрузках («оконечных» технологических загрузках) данного технологического прогона могут испытывать влияние технологических загрузок соседних технологических прогонов. Эти влияния могут быть связаны с какими-либо отличиями в характеристиках поглощенной дозы в продукте оконечной технологической загрузки данного технологического прогона и в продуктах соседних технологических прогонов. Чтобы предотвратить неприемлемое распределение поглощенной дозы, вызванное этими эффектами, может оказаться необходимым ввести рядом с оконечными технологическими загрузками дополнительные технологические загрузки, содержащие компенсирующий имитатор или материал с плотностью, аналогичной плотности продукта.

Примечание — В некоторых пакетных (группировочных) облучателях с одноразовой загрузкой может отсутствовать оконечная технологическая загрузка, когда облучатель заполнен продуктом на один технологический прогон.

10.2.3 Частично заполненные технологические загрузки

Когда технологические загрузки содержат меньшее количество продукта, чем это указано в спецификации на конфигурацию загрузки (см. 9.2), следует убедиться, что фактические данные картирования поглощенной дозы подтверждают, что поглощенные дозы находятся в пределах, установленных спецификацией. При отсутствии данных картирования поглощенной дозы проводят процедуру картирования поглощенной дозы по 9.3.1 с целью гарантировать, что распределения поглощенной дозы адекватно характеризованы. Изменения распределения поглощенной дозы, вызванные частичной загрузкой, в отдельных случаях можно минимизировать, используя компенсирующий имитатор, помещенный в подходящих местах в частично заполненной технологической загрузке.

10.3 Повседневная производственная дозиметрия

10.3.1 Повседневная дозиметрия является частью процесса проверки, целью которого является подтверждение того, что процесс облучения является управляемым.

10.3.2 Дозиметры, применяемые при повседневной дозиметрии, не обязательно должны быть того же типа, что и используемые при картировании поглощенной дозы.

10.3.3 С помощью соответствующих дозиметрических процедур, включающих в себя статистическую обработку и документирование результатов, убеждаются в том, что продукт получает необходимую поглощенную дозу. Эти процедуры предусматривают применение встроенных средств повседневной дозиметрии, способ использования которых приведен ниже.

10.3.3.1 Размещение дозиметров

Наборы дозиметров размещают внутри или на поверхности технологических загрузок в заранее определенных точках максимальной и минимальной доз (см. 9.3.1) или, как альтернатива, в точках набора референсной дозы (см. 9.3.4 и 9.3.8.1).

10.3.3.2 Частота размещения

Выбирают достаточное количество технологических загрузок, на которых размещают наборы дозиметров таким образом, как это указано в 10.3.3.1, с целью убедиться, что поглощенные дозы для всего технологического прогона находятся в пределах, указанных в спецификации. Для каждого технологического прогона наборы дозиметров размещают в первой и последней технологических загрузках (внутри или на поверхности), а также в некоторых выбранных промежуточных технологических загрузках с тем, чтобы убедиться, что по крайней мере одна технологическая загрузка, снабженная набором дозиметров, облучается в течение всего времени. Имеющиеся дозиметрические данные могут быть полезны при определении необходимости размещения набора дозиметров в промежуточных технологических загрузках. В режиме пакетной загрузки (с группировкой) набор дозиметров помещают по крайней мере на одной технологической загрузке для каждого типа продукта.

Примечание — Распределение поглощенной дозы в технологической загрузке уже известно по результатам картирования дозы, как это описано в разделе 9. Тем не менее, использование достаточного количества стратегически осмысленно размещенных наборов дозиметров позволяет подтвердить, что значения поглощенной дозы находятся в допустимом диапазоне. Более частое размещение наборов дозиметров в течение технологического прогона могло бы привести к уменьшению отбраковки продукта в случае, если возникнет какая-либо операционная неопределенность или ошибка.

10.3.3.3 Влияние окружающих условий

Изменение окружающих условий (например, температуры, влажности), в которых находится дозиметр в процессе облучения, может повлиять на его отклик. При необходимости вводят поправочный коэффициент в отклик дозиметра, чтобы учесть любой такой эффект. Необходимо также позаботиться о правильном обращении с дозиметрами, включая их хранение, до и после облучения. (См. [6] и руководства по индивидуальным системам дозиметрии).

10.3.3.4 Охлажденные и замороженные пищевые продукты

Если отклик дозиметров, используемых для контроля повседневного технологического процесса, зависит от температуры, обращают внимание на определение температуры дозиметра в процессе облучения охлажденных и замороженных пищевых продуктов, а также при внесении соответствующих температурных поправок (см. 9.3.8). Дозиметры с сильно выраженной температурной зависимостью не следует размещать в точках с большими температурными градиентами. (См. [6] и руководства по индивидуальным системам дозиметрии).

10.3.3.5 Облучатели непрерывного потока

Для некоторых типов облучателей непрерывного потока (например, облучателей потока жидкостей или зерна) может оказаться невозможным во время повседневной технологической обработки продукта разместить дозиметры в точках минимальной и максимальной поглощенных доз. В таких случаях добавляют несколько дозиметров в поток продукта в начале, в середине и около окончания технологического прогона. Каждая серия измерений поглощенной дозы требует применения нескольких дозиметров для гарантии того, что значения минимальной и максимальной поглощенных доз определены при заданном доверительном уровне. При этой процедуре требуется, чтобы дозиметры следовали через зону облучения по тому же пути и с той же скоростью, что и продукт. (См., например [31]).

10.4 Радиационно-чувствительные индикаторы (см. [43])

При некоторых применениях, желая показать, что продукт подвергся облучению, используют радиационно-чувствительные индикаторы (иногда их называют индикаторы «да/нет»). Однако эти индикаторы дают только качественную информацию о факте облучения. Кроме того, изменение цвета радиационно-чувствительных индикаторов не всегда стабильно и подвержено влиянию, например света или тепла. Таким образом, они не могут ни заменять, ни дополнять дозиметрические процедуры, описанные

в 10.3. Хотя радиационно-чувствительные индикаторы удобно использовать в качестве средства инвентаризации продуктовых запасов, их не следует использовать вместо других официальных средств инвентаризации продуктовых запасов.

11 Сертификация

11.1 Комплектация документов

11.1.1 Документация на оборудование

Составляют перечень документов (или ссылок на документы) по калибровке и эксплуатации оборудования и измерительных приборов, применяемых для управления или измерения поглощенных доз, полученных продуктом (см. [6]).

11.1.2 Параметры технологического процесса

Регистрируют параметры технологического процесса (см. 10.2), оказывающие влияние на поглощенную дозу, вместе с необходимым объемом информации, связывающей эти параметры с определенными партиями продуктов или технологическими прогонами.

11.1.3 Дозиметрия

Фиксируют и документируют все дозиметрические данные для оценки операционного качества (см. раздел 8), для оценки технологического качества (см. раздел 9) и для повседневного технологического процесса (см. раздел 10). Указывают дату, время, тип продукта, диаграммы технологической загрузки и поглощенные дозы для всех обработанных продуктов. Записывают время дозиметрического анализа, если степень пост-радиационной стабильности дозиметров в данных условиях их применения требует зависящих от времени корректировок функции отклика дозиметров.

11.1.4 Неопределенность дозиметрии

Добавляют оценки неопределенности измерений поглощенной дозы (см. раздел 12) в протоколы и отчеты в удобной форме.

11.1.5 Журнал установки

Записывают дату облучения продукта, а также время начала и окончания облучения. Записывают фамилию оператора, а также всевозможные особые условия работы облучателя или установки, которые могли бы повлиять на поглощенную дозу в продукте.

11.1.6 Идентификация продукта

Обеспечивают гарантии того, что каждая партия продукта имеет идентификацию, которая позволяет отличить ее от других партий в установке. Эта идентификация должна присутствовать во всех документах на данную партию.

11.2 Обзор и сертификация

11.2.1 Прежде чем отпустить продукт потребителю, рассматривают результаты дозиметрии и записанные значения параметров процесса с тем, чтобы проверить соответствие с требованиями спецификаций.

11.2.2 Утверждают и сертифицируют поглощенную дозу продукта для каждого технологического прогона в соответствии с утвержденной программой обеспечения качества установки. Сертификацию должен проводить персонал, имеющий официальный статус, как того требует программа обеспечения качества.

11.2.3 Проводят аудит всей документации с периодичностью, указанной в программе обеспечения качества, с целью гарантии того, что записи сделаны аккуратно и в полном объеме. При обнаружении недостатков следует убедиться в том, что приняты необходимые меры по их устранению.

11.3 Хранение записей

Создают картотеку всей информации по каждому технологическому прогону (например, копии документа о продаже, сертификаты облучения, запись данных о процессе облучения (см. 11.1.1—11.1.6)). Сохраняют картотеку за период времени, указанный в программе обеспечения качества. Картотека должна быть доступна для инспекции, как того требуют соответствующие правительственные органы.

12 Неопределенность измерений

12.1 Измерения поглощенной дозы следует сопровождать оценкой неопределенности.

12.2 Компоненты неопределенности следует рассматривать как принадлежащие к одной из двух категорий.

12.2.1 Тип А — неопределенность оценивают статистическими методами.

12.2.2 Тип В — неопределенность оценивают другими методами.

12.3 Широко используют и другие методы классификации неопределенности, которые могут быть полезны для информирования о ней. Например, термины погрешность и систематическая ошибка или случайная и систематическая (неслучайная) используются для описания различных категорий неопределенности.

Примечания

1 Отнесение неопределенностей к типу А или к типу В основано на методологии оценки неопределенностей, опубликованной в 1995 г. Международной организацией по стандартизации (ISO) в Руководстве по выражению неопределенности в измерениях [44]. Целью применения этого типа классификации является стремление способствовать пониманию того, как развивается понятие неопределенности, и создание основы для международных сравнений результатов измерений.

2 В [45] дается перечень возможных источников неопределенности в дозиметрии, применяемой на установках для радиационной обработки, и предлагаются процедуры оценки значений результирующих неопределенностей при измерениях поглощенной дозы средствами дозиметрии. В документе приводятся и обсуждаются основные концепции измерения, включая оценку измеренного значения величины, «истинное» значение, погрешность и неопределенность. Обсуждаются составляющие неопределенности и указываются методы оценки их значений. Приводятся также методы вычисления комбинированной стандартной неопределенности и оценки расширенной (суммарной) неопределенности.

12.4 Необходимо, чтобы регулятивные и коммерческие требования, относящиеся к конкретным облучаемым продуктам, учитывали приемлемый уровень неопределенности при измерениях поглощенной дозы.

Библиография

[1] ASTM F 1355 Guide for Irradiation of Fresh Agricultural Produce as a Phytosanitary Treatment (Руководство по радиационной обработке свежей сельскохозяйственной продукции в качестве фитосанитарной меры)

[2] ASTM F 1356 Guide for the Irradiation of Fresh and Frozen Red Meats and Poultry to Control Pathogens and Other Microorganisms (Руководство по радиационной обработке свежего и замороженного красного мяса, и мяса птицы для ограничения содержания патогенов и других микроорганизмов)

[3] ASTM F 1736 Guide for the Irradiation of Finfish and Shellfish to Control Pathogens and Spoilage Microorganisms (Руководство по радиационной обработке рыбы и водных беспозвоночных, используемых в пищу, для ограничения содержания патогенов и гнилостных микроорганизмов)

[4] ASTM F 1885 Guide for Irradiation of Dried Spices, Herbs, and Vegetable Seasonings to Control Pathogens and Other Microorganisms (Руководство по радиационному облучению сухих специй, трав и приправ для ограничения содержания патогенов и других микроорганизмов)

[5] ISO/ASTM 51431 Practice for Dosimetry in Electron Beam and X-ray bremsstrahlung Irradiation Facilities for Food Processing (Руководство по дозиметрии при обработке пищевых продуктов электронными пучками и рентгеновским (тормозным) излучением)

[6] ISO/ASTM 51261 Guide for Selection and Calibration of Dosimetry Systems for Radiation Processing и (Руководство по выбору и калибровке дозиметрических систем для радиационной обработки)

[7] ASTM E 666 Practice for Calculating Absorbed Dose from Gamma or X Radiation (Руководство по вычислению поглощенной дозы при гамма- или рентгеновском облучении)

[8] ASTM E 1026 Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System (Руководство по применению дозиметрической системы референсных эталонов Фрике)

[9] ASTM E 2304 Practice for Use of a LiF Photo-Fluorescent Film Dosimetry System (Руководство по применению фотофлуоресцентной пленочной дозиметрической системы на основе LiF)

[10] ISO/ASTM 51205 Practice for Use of a Ceric-Cerous Sulfate Dosimetry System (Руководство по применению дозиметрической системы на основе церия-сульфата церия)

[11] ISO/ASTM 51275 Practice for Use of a Radiochromic Film Dosimetry System (Руководство по применению дозиметрической системы на основе радиохромных пленок)

[12] ISO/ASTM 51276 Practice for Use of a Polymethylmethacrylate Dosimetry System (Руководство по применению дозиметрической системы на основе полиметилметакрилата)

[13] ISO/ASTM 51310 Practice for Use of a Radiochromic Optical Waveguide Dosimetry System (Руководство по применению дозиметрической системы с использованием радиохромного оптического волновода)

[14] ISO/ASTM 51401 Practice for Use of a Dichromate Dosimetry System (Руководство по применению дозиметрической системы на основе бихромата серебра)

[15] ISO/ASTM 51538 Practice for Use of an Ethanol-Chlorobenzene Dosimetry System (Руководство по применению дозиметрической системы на основе этанола и хлорбензола)

[16] ISO/ASTM 51540 Practice for the Use of a Radiochromic Liquid Dosimetry System (Руководство по применению жидкостной радиохромной дозиметрической системы)

[17] ISO/ASTM 51607 Practice for the Use of the Alanine-EPR Dosimetry System (Руководство по применению аланиновой дозиметрической системы с использованием ЭПР-спектроскопии)

[18] ISO/ASTM 51607 Practice for the Use of the Alanine-EPR Dosimetry System (Руководство по применению аланиновой дозиметрической системы с использованием ЭПР-спектроскопии)

[19] ISO/ASTM 51956 Practice for Use of Thermoluminescence-Dosimetry (TLD) Systems for Radiation Processing (Руководство по применению систем термолюминесцентной дозиметрии (TLD) при радиационной обработке)

[20] ICRU Report 14 Radiation Dosimetry: X-Rays and Gamma Rays with Maximum Photon Energies Between 0.6 and 50 MeV (Радиационная дозиметрия: рентгеновские и гамма-лучи с максимальной энергией фотонов от 0,6 до 50 МэВ)

[21] ICRU Report 60 Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation (Фундаментальные величины и единицы для ионизирующего излучения)

[22] ASTM E 170 Terminology Relating to Radiation Measurements and Dosimetry (Терминология, относящаяся к радиационным измерениям и дозиметрии)

[23] Codex General Standard for Irradiated Foods (CODEX STAN 106-1983, Rev. — 2003) and Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Food (CAC/RCP 19-1979, Rev. — 2003), *Codex Alimentarius*, Food and Agriculture Organization and World Health Organization, Rome, 2003 («Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением» (CODEX STAN 106-1983, Rev. — 2003) и «Рекомендуемые международные технические нормы и правила, касающиеся облучения пищевых продуктов» (CAC/RCP 19-1979, Rev. — 2003). Кодекс алиментариус, Продовольственная и сельскохозяйственная организация и Всемирная организация по здравоохранению, Рим, 2003)

[24] *Dosimetry for Food Irradiation*, Technical Reports Series No. 409, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002 (Дозиметрия при облучении пищевых продуктов. Технические отчеты, серия № 409, Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2002)

[25] Ehlermann, D. A. E., The use of Various Dosimeters for the Measurement of Random Fluctuations of the Dose Distribution in Commercial Scale Food Irradiation, *Dosimetry in Agriculture, Industry, Biology and Medicine*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1973, pp. 77—83 (Элерман Д.А.Э. «Использование различных дозиметров для измерения случайных флуктуаций распределения дозы в коммерческой шкале облучения пищевых продуктов». Дозиметрия в сельском хозяйстве, промышленности, биологии и медицине. Международное агентство по атомной энергии, Вена,1973, с. 77—83)

[26] Ehlermann, D. A. E., Dose Distribution and Methods for its Determination in Bulk Particular Food Materials, *Health Impact, Identification, and Dosimetry of Irradiated Food*, Bogl, K. W., Regulla, D. F., and Suess, M. J., eds., A World Health Organization Report, Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesund-heitsamtes, Munchen, 1988, pp. 415—419 (Элерман Д.А.Э. «Распределение дозы и методы его определения в объемных сыпучих пищевых продуктах». Воздействие на здоровье, идентификация и дозиметрия облученных пищевых продуктов. Бегль К.В., Регулла Д.Ф. и Суэсс Д.В., изд., Отчет Всемирной организации здравоохранения, Институт радиационной гигиены Федерального управления здравоохранения, Мюнхен, 1988, с. 415—419)

[27] Farkas, J., Irradiation of Dry Food Ingredients, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 1988, chap.8 (Фаркаш Дж. Облучение сухих пищевых ингредиентов, издательство CRC Press Inc., Бока Рэйтон, Флорида, 1988, глава 8)

[28] Food Irradiation, a Technique for Preserving and Improving the Safety of Food, A World Health Organization Report, Geneva, 1988 («Облучение пищевых продуктов, метод сохранения и повышения безопасности пищевых продуктов». Отчет Всемирной организации здравоохранения, Женева, 1988)

[29] McLaughlin, W. L., Jarrett, Sr., R. D., and Olejnik, T. A., chap. 8, Dosimetry, *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Vol. 1, CRC Press, Boca Raton, FL, 1983 (Мак-Лафлин У.Л., Джарретт Р.Д, Олейник Т.А. «Дозиметрия». Сохранение пищевых продуктов с помощью ионизирующего излучения, том 1, издательство CRC Press, Бока Рэйтон, Флорида, 1983, глава 8)

[30] *Preservation of Food by Ionizing Radiation*, Vols 1—3, Josephson, E. S., and Peterson, M. S., eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 1983 (Сохранение пищевых продуктов с помощью ионизирующего излучения. Т. 1—3. Джозефсон Э.С. и Петерсон М.С., изд., CRC Press, Бока Рэйтон, Флорида, 1983)

[31] Stenger, V., Sipos, T., Laszlo, L., Hargittai, P., Kovacs, A., and Horvath, I., "Experiences with a High Capacity Industrial Scald Pilot Onion Irradiator," *Radiation Physics and Chemistry*, Vol 22, 1983, pp. 717—732 (Стенгер В., Шипош Т., Ласло Л., Ковач А., Хорват И. «Опыт работы с промышленным высокопроизводительным источником излучения для облучения репчатого лука». Радиационная физика и химия, т. 22, 1983, с. 717—732)

[32] Urbain, W. M., *Food Irradiation*, Academic Press, Inc., New York, 1986 (Урбейн У.М. Облучение пищевых продуктов. Издательство Academic Press, Inc., Нью-Йорк, 1986)

[33] *Food Irradiation: Principles and Applications*, Molins, R.A., ed., John Wiley & Sons, New York, 2001 (Облучение пищевых продуктов: принципы и применение. Молинс Р.А., изд., John Wiley & Sons, Нью-Йорк, 2001)

[34] *Handbook of Chemistry and Physics*, 71st ed., Lide, D. R., ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2009 (Справочник по химии и физике, 89-е издание, CRC Press, Бока Рэт, Флорида, 2009)

[35] Unterweger, M. P., Hoppes, D. D., and Schima, F. J., New and Revised Half-life Measurement Results,"Nuclear Instrument Measurements", Vol A312, 1992, pp. 349—352 (Унтервегер М.П., Хоппс Д.Д., Шима Ф.Дж. «Результаты новых и повторных измерений времен полураспада». Ядерные приборы и измерения, т. А312, 1992, с. 349—352)

[36] Tuli, J. K., Nuclear Data Sheets Update for A=137, Nuclear Data Sheets, Vol 72, No. 3, July 1994, p. 366 (Тули Дж. К. «Обновленные справочные данные о ядерных материалах для А=137». Справочные данные о ядерных материалах, т. 72, № 3, июль 1994 г., с. 366)

[37] ISO/ASTM 51400 Practice for Characterization and Performance of a High-Dose Radiation Dosimetry Calibration Laboratory (Руководство по аттестации и функционированию калибровочной лаборатории в области радиационной дозиметрии больших доз)

[38] McLaughlin, W. L., Radiation Measurements and Quality Control, *Radiation Physics and Chemistry*, Vol 9,1977, pp. 147—181 (Мак-Лафлин У.Л. «Радиационные измерения и контроль качества». Радиационная физика и химия, т. 9, 1977, с. 147—181)

[39] McLaughlin, W. L., Boyd, A. W., Chadwick, K. H., McDonald, J. C., and Miller, A., *Dosimetry for Radiation Processing*, Taylor and Francis, New York, 1989 (Мак-Лафлин У.Л, Бойд А.У., Чедвик К.Х., Мак-Дональд Дж.С., Миллер А. «Дозиметрия при обработке излучением». Издательство Taylor and Francis, Нью-Йорк, 1989). (Руководство по аттестации и функционированию калибровочной лаборатории в области радиационной дозиметрии больших доз)

[40] ASTM E 2232 Guide for Selection and Use of Mathematical Models for Calculating Absorbed Dose in Radiation-Processing Applications (Руководство по выбору и использованию математических моделей для расчета поглощенной дозы в задачах по радиационной обработке)

[41] Vas, K., Beck, E. R. A., McLaughlin, W. L., Ehlermann, D. A. E., and Chadwick, K. H., "Dose Limits Versus Dose Range", *Acta Alimentaria*, Vol 7, No. 2, 1978, p. 343 (Вас К., Бек. Э.Р.А., Мак-Лафлин У.Л., Элерман Д.А.Э., Чедвик К.Н. «Пределы доз и диапазон доз». Акта алиментариа, т. 7, № 2, 1978, с. 343)

[42] Mehta, K., Process Qualification for Electron-Beam Sterilization, *Medical Device and Diagnostic Industry*, June 1992, pp. 122—134 Мехта К. «Оценка качества процесса при стерилизации электронным пучком». Промышленность медицинского оборудования и диагностики, июнь 1992, с. 122—134)

[43] ISO/ASTM 51539 Guide for the Use of Radiation-Sensitive Indicators (Руководство по применению радиационно-чувствительных индикаторов)

[44] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, International Organization for Standardization, 1995, ISBN 92-67-10188-9 («Руководство по выражению неопределенности измерения», Международная организация по стандартизации, 1995, ISBN 92-67-10188-9). Имеется русский перевод: «Руководство по выражению неопределенности измерения», Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург, 1999

УДК 664:539.1.047:539.1.06:006.354 МКС 67.040

Ключевые слова: поглощенная доза; кобальт-60; цезий-137; картирование дозы; дозиметр; дозиметрия; облучение пищевых продуктов; обработка пищевых продуктов; гамма; оценка качества монтажа; ионизирующее излучение; облученные пищевые продукты; облучение; оценка операционного качества; оценка технологического качества, радиация

БЗ 11—2017/31

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 22.09.2017. Подписано в печать 03.10.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,12. Тираж 22 экз. Зак 1873.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru