

## Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕННЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Накопленный опыт по разработке крупных опытно-промышленных и промышленных установок с использованием радиоизотопных облучателей и ускорителей электронов позволяет эффективно применять ионизирующие излучения в промышленной технологии для следующих целей:

- 1) в качестве инициатора радиационно-химических процессов для улучшения обычной химической технологии;
- 2) получения новых веществ с ценными уникальными свойствами;
- 3) для деструкции различных веществ, находящихся в водных растворах и живой клетке.

Более подробно рассматриваются процессы третьей группы, к которым относят: радиационную деструкцию промышленных сточных вод, содержащих цианистые соединения; комплексы металлов; различные органические соединения химических производств; бытовые сточные воды; радиационную стерилизацию различных изделий медицинской промышленности; радиационную обработку рыбо- и морепродуктов с целью уничтожения содержащейся в них микрофлоры и т.п. Все эти и подобные процессы чаще называют процессами **радиобиологической технологии (РБТ)**. Процессы РБТ затрагивают многотоннажные производства гигантских по масштабу сфер деятельности человека – сельское хозяйство, пищевую, медицинскую, микробиологическую и рыбную промышленности, охрану окружающей среды и т. д.

В настоящее время в мире работает более 70 промышленных установок для стерилизации медицинских изделий, введены в строй крупнотоннажные установки для дезинсекции зерна, удлинения сроков хранения картофеля и лука, предпосевного облучения семян, внедрены или находятся на стадии внедрения процессы и установки для обеззараживания кормов, удлинения сроков хранения ряда продуктов питания, дезинсекции и обеззараживания животноводческих и коммунальных стоков, половой стерилизации насекомых-вредителей, радиационной технологии «ослепления» в виноградарстве и т. д.

### Задачи и особенности технологической дозиметрии

Важным технологическим параметром радиационных процессов является поглощенная объектом (продукцией) доза излучения и ее мощность, которые подлежат контролю при использовании РБТ. Решением этих вопросов занимается **технологическая дозиметрия**. Таким образом, задача технологической дозиметрии при проведении процессов радиобиологической технологии – определение и контроль степени облучения продукции (объектов), подвергаемой радиационной обработке. Диапазон измеряемых доз в различных процессах РБТ крайне широк и колеблется от  $2 \cdot 10^{-2}$  до  $5 \cdot 10^4$  Гр (табл. 17).

Специфика технологической дозиметрии во многом зависит от режима работы радиационной установки, вида облучателя, характера радиационного процесса, физических и химических свойств облучаемых объектов.

Кроме того, при сдаче в эксплуатацию радиационной техники, предназначенной для проведения конкретного процесса, дозиметрия позволяет определить соответствие параметров (мощности экспозиционной дозы гамма-излучения; тока электронов в пучке ускорителя, мощности и формы пучка электронов; конфигурации поля доз и др.) техническому заданию и паспортным характеристикам.

Таблица 17. Диапазон доз при целевом использовании ионизирующих излучений

Цель облучения	Диапазон измерений, Гр
1	2
Предпосевное облучение семян сельхозкультур	100
Предпосадочное облучение картофеля (стимулирующий эффект)	10
Задержка прорастания семенных клубней картофеля в предпосадочный период	20–30
Селекция растений	$10-10^3$
Предотвращение прорастания картофеля, лука	50–150
Продление сроков хранения овощей, ягод, фруктов	$(1-8) \cdot 10^3$
Дезинсекция зерна	$10^2-10^3$
Стерилизация медицинских изделий и препаратов	$10^3-5 \cdot 10^4$
Радуризация рыбы и рыбных продуктов	$(2-4) \cdot 10^3$
Обеззараживание навозных стоков промышленных животноводческих комплексов	$3 \cdot 10^2-10^4$
«Ослепление» глазков на черенках винограда	5–30
Карантинное обеззараживание кожи и шерсти животных	$(2-3) \cdot 10^4$
Консервирование шкур и кожевенного сырья	$10^3-10^4$
Стерилизация специй и других добавок в пищевые продукты	$(0,5-2) \cdot 10^4$
Стерилизация пищи лабораторных животных	$(0,5-2) \cdot 10^4$
Стерилизация сточных вод	$(0,4-2) \cdot 10^4$
Экстракорпоральное облучение крови	1–6
Половая стерилизация насекомых-вредителей	50–150
Консервирование и улучшение качества кормов	$(0,2-3) \cdot 10^4$
Увеличение яйценоскости и жизнеспособности кур	$(2-6) \cdot 10^2$
Стерилизация изделий и препаратов в ветеринарии	$(2-5) \cdot 10^4$
<b>Удлинение сроков хранения мяса и ряда мясных продуктов:</b>	
радисацией	$(2-6) \cdot 10^3$
радуризацией	$(1-6) \cdot 10^3$
радаппертизацией	$(1-5) \cdot 10^4$

Если в качестве примера взять процесс радиационной стерилизации медицинских изделий и препаратов (табл. 18), то доза (время) является практически единственным контролируемым параметром.

Аналогичное положение и при проведении других процессов РБТ предпосевного облучения семян сельскохозяйственных растений (обеззараживание промышленных и животноводческих стоков, радиационная обработка пищевых продуктов и т. п.).

Экспериментальное определение дозы излучения в диапазоне задач, приведенных выше, практически не может быть осуществлено с помощью какого-либо одного метода. В зависимости от агрегатного состояния продукции (твердотельная, перемешиваемая или неперемешиваемая система, жидкостная), физико-механических свойств системы, условий радиационной обработки (мощности поглощенной дозы, температуры в процессе облучения, среды), характера процесса (непрерывный, периодический) требования к применяемым дозиметрам, естественно, различны. Технологическая дозиметрия, как и всякая иная, основана на регистрации физических и химических эффектов (ионизации, сцинтилляции, тепловых, химических, оптических и др.), по которым определяют энергию излучения, поглощаемую облучаемой средой.

Кроме того, дозиметрическая система, как составная часть радиационной технологии, наряду с другими требованиями должна обладать тканеэквивалентностью, достаточной точностью и стабильностью показаний по времени.

Таблица 18. Контролируемость параметров при различных методах стерилизации

Параметры	Метод стерилизации				
	Паровой (автоклавирование)	Газовый (окись этилена)	Радиационный (иониз. излуч.)	Термо-радиационный	Криогенно-радиационный
Температура	+	+	–	+	+
Время	+	+	+	+	+
Давление	+	+	–	–	–
Вакуум	+	+	–	–	–
Концентрация	–	+	–	–	–
Упаковка	+	+	–	–	–
Влажность	–	+	–	–	–

Примечание: + контролируемый, – неконтролируемый.

При определении распределения поля поглощенной дозы в облучаемой продукции возникает необходимость моделирования. Иногда для моделирования применяют фантомы, т.е. в тару помещают материал, который позволяет воспроизвести геометрическую форму, условия поглощения и рассеяния для конкретного вида излучения и изделий.

Фантом может быть и реальный, тогда в тару помещают некондиционную продукцию. В качестве фантомов часто употребляют пенопласт, парафин, органическое стекло и другие, в зависимости от плотности облучаемой продукции и эффективного атомного номера. В фантомах в определенных условиях фиксируют детекторы излучения, которые позволяют в дальнейшем определить распределение поля поглощенной дозы в облучаемой упаковке. Пространственное распределение поглощенной дозы измеряют с помощью рабочих дозиметров, погрешность которых не превышает 10% при доверительной вероятности 0,95. Более точную информацию в случае неоднородной облучаемой продукции можно получить, используя некондиционную продукцию.

Качество продукции и получение оптимального экономического эффекта зависят от точности и правильности определения поглощенной дозы (иногда и от мощности поглощенной дозы) в продукции, подвергшейся радиационной обработке. В зависимости от способа проведения технологического процесса (непрерывного в виде потока жидкости или твердотельного сыпучего материала для «блочных» объектов) задачи измерения поглощенной дозы решают различными методами. Наиболее сложной задачей является измерение поглощенных доз в процессе радиационной обработки непрерывного потока перемешиваемых систем (жидкости, твердотельных сыпучих материалов). Измерение и контроль дозы при радиационной обработке в непрерывном потоке, например, сыпучего материала, выдвигает ряд требований: размер и форма детекторов должны быть соизмеримы с размером облучаемых частиц (например, семян); плотность детектора должна быть близка к средней плотности облучаемой продукции; детекторы должны обладать достаточной механической прочностью.

Также необходимо помнить, что применяемые химические и пленочные дозиметры близки по плотности и атомному составу полимерным материалам, используемым в изделиях. Однако при облучении изделий из металла могут возникнуть ошибки и величина поглощенной дозы будет недооценена.

Для группы процессов с «блочными» системами задачи измерения поглощенной дозы решаются с помощью дозиметров, размещенных в фиксированных точках тары (упаковки) с продукцией или веществом, близким к ней по составу.

К особенностям дозиметрии при радиационной обработке объектов ускоренными электронами в отличие от дозиметрии на изотопных установках относится возможность изменения поля мощности дозы в зоне облучения из-за изменения параметров ускорителя – тока, энергии и величины отклоняющего поля в развертывающем устройстве. Это налагает определенные требования на организацию дозиметрического контроля, которые выражаются в необходимости непрерывного контроля за величиной поглощенной дозы или за параметрами ускорителя. Другой особенностью технологической дозиметрии являются чрезвычайно высокие интенсивности излучения, создающие мощности поглощенной дозы 10 кГр/с, а в случае импульсных излучений – до нескольких сотен тысяч килогрей в секунду. Поэтому все дозиметрические системы, разработанные и использующиеся на изотопных установках, требуют корректировки своих характеристик.

## Основные типы дозиметров, применяемых в технологической дозиметрии

В настоящее время исследователи и производственники проявляют особый интерес к методам, основанным на изменении ряда свойств (оптической плотности, окрашиваемости и т.д.) твердотельных детекторов под действием ионизирующего излучения. Практически представляют интерес два вида детекторов: на основе стекол и полимерных материалов.

Небольшие размеры, прочность, химическая стойкость, возможность сравнительно быстро получить информацию о распределении дозы по объему, точность измерения (не менее 90%) позволяют рассматривать стеклянные дозиметры как перспективные в практическом отношении. Недостатком стекол является изменение их окрашиваемости во времени и особенно в первые сутки (до 10–20%), так называемый **феддинг**.

Дозиметрические стекла представляют собой пластины толщиной 1–5 мм, противоположные поверхности обычно полированы для пропускания света при измерении оптической плотности с помощью спектрофотометров. Для света определенной длины волны дозиметрические стекла имеют линейную зависимость изменения оптической плотности от поглощенной дозы излучения в определенном диапазоне доз и энергии.

Для определения поглощенной дозы, полученной сыпучим продуктом в процессе радиационной обработки в непрерывном потоке, используется термолюминесцентный метод дозиметрии с использованием в качестве детекторов алюмофосфатных стекол, активированных марганцем, или фтористым литием.

Алюмофосфатные стекла с добавками марганца изготавливают в виде полированных прямоугольных стержней размером 10×3×3 мм. Свечение термолюминесценции измеряют в специальном нагревательном устройстве термолюминесцентного дозиметра ДТМ-2 или подобных ему. Термолюминесцентные детекторы позволяют фиксировать дозы от 0,1 до –100 Гр, а значение запасенной в стеклах или фтористом литии энергии не зависит от мощности дозы гамма-излучения Cs-137 и Co-60 вплоть до 0,25 Гр/с. В диапазоне энергии от 70 кэВ до 1,25 МэВ «ход с жесткостью» практически отсутствует. Детекторы могут применяться многократно и способны сохранять информацию в течение 5–6 месяцев, что особенно важно в производственных условиях.

Наиболее широко в настоящее время применяются дозиметрические системы на основе полимерных пленок или пластинок из полимерных материалов. Как правило, текущий дозиметрический контроль многих процессов РБТ предусматривает использование тонкопленочных дозиметров. К ним относятся дозиметры на основе пленки поливинилового спирта (ПВС), полиметилметакрилата (ПММК), целлофана (Ц), триацетата целлюлозы. (ТЦ), поливинилхлорида (ПВХ) с добавками различных красителей, полистирола (ПС) с добавками люминесцирующих красителей, ряда сополимеров (С) с добавками красителей и т. п. Доза определяется по изменению оптического поглощения (ПВС, ПММК, ТЦ, Ц и др.) или по изменению цвета (ПВХ, ПС и др.).

В США, Англии, Венгрии и других странах для целей дозиметрии выпускаются окрашенный полиметилметакрилат; бумага, покрытая поливинилхлоридом с красителем; целлофан, содержащий красители.

Величина поглощенной дозы определяется по изменению окраски пленочного дозиметра. Например, дозиметр, состоящий из 90% поливинилхлорида и 10% поливинилового спирта с красителем метилоранж при облучении меняет свой цвет от желтого до красного в зависимости от поглощенной дозы. Смесь из 50% поливинилхлорида и 50% парафина, в которую введен краситель конго красный, изменяет окраску от красного до сине-фиолетового также в зависимости от поглощенной дозы.

Для практики радиационно-биологической технологии особый интерес представляют пленочные дозиметры, сочетающие в себе возможность визуального определения дозы по цвету и ее объективного измерения, например, по оптическим параметрам.

Для повседневного контроля продукции, обработанной радиационным методом, в настоящее время широко используют цветовые индикаторы дозы, которые условно делят на два типа: двухцветовой (например, желто-красный) и многоцветовой, имеющий несколько цветовых переходов. Первый тип позволяет при контроле процесса облучения визуально обнаружить факт облучения: «облучено» или «не облучено», а второй тип – степень облучения продукции. При этом поглощенную дозу определяют визуальным сравнением окраски облученного индикатора с цветодозной шкалой (табл. 19).

Широко применяются цветовые визуальные индикаторы дозы ЦВИД-3 для рабочего диапазона доз 2–30 кГр в интервале мощности дозы 40–4000 Р/с. Они обладают хорошей гаммой окрасок, что позволяет свести погрешность визуальной оценки дозы при использовании цветодозной шкалы до 25%.

ЦВИД-3 изготавливают на основе полистирола с добавкой люминесцирующего красителя–1,8, нафтолена–1,2, бензимидазола, либо его производных, и галогеносодержащей добавки в виде ярко-красной пленки на бумажной подложке с нанесенным клеящим слоем. ЦВИД-3 дает возможность проводить также измерение с использованием зависимости интенсивности люминесценции ( $\lambda = 525$  нм) от поглощенной дозы. Дозиметр требует защиты от интенсивного ультрафиолетового излучения.

Для дозиметрии на установках, в которых в качестве излучателя используют ускорители электронов, более пригодны тонкие полимерные пленки. Они обычно выполняются на основе триацетата целлюлозы с различными добавками.

Для дозиметрии электронного излучения более пригодны тонкие поливинилхлоридные пленки, в состав которых входит краситель.

Доза, кГр	ЦВИД-3 (цвет)	Цветовой индикатор-дозиметр (цвет)
0	Красный	Синий
2	Серо-малиновый	–
5	Темно-зеленый	–
10	Зеленый	Сине-фиолетовый
20	Желто-зеленый	Фиолетовый
30	Желтый	Красный
40	–	Оранжевый
50	–	Желтый

Под действием ионизирующего излучения выделяется соляная кислота, которая действует на краситель и изменяет цвет пленки. Толщина пленок может составлять сотые доли миллиметра. При такой толщине пленочный дозиметр не искажает поля излучения. Пленочные дозиметры эффективны при измерении больших доз –  $5 \cdot 10^3$  –  $5 \cdot 10^5$  Гр.

### **Использование ионизирующих излучений в сельском хозяйстве и промышленности**

#### **Радиационная техника.**

Наиболее широкое применение нашли установки рентгеновского, гамма-, бета-, электронного и нейтронного излучений. Иногда используют источники излучения, связанные с ядерными реакторами, так называемые «радиационные контуры реакторов», но чаще всего – их частично или полностью отработанные тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы – узлы реактора, содержащие ядерное топливо).

Основные требования, которые предъявляются к ионизирующим излучениям, следующие: обеспечение определенной поглощенной дозы в пределах требуемой точности; равномерное падение заданной дозы по всему объему облучаемой продукции; отсутствие нежелательных реакций, приводящих к появлению в объекте облучения наведенной радиоактивности; обеспечение условий радиационной безопасности и окупаемость себестоимости технологий.

#### **Радиационная техника на основе радиоактивных изотопов Co-60 и Cs-137.**

Широкому применению этих источников в сельском хозяйстве способствуют следующие характеристики: большие периоды полураспада (5,3 и 30 лет соответственно); высокая проникающая способность излучений; отсутствие наведенной радиоактивности у облученных объектов; возможность создавать источники любой удельной активности – от нескольких до тысяч кюри на грамм, и благоприятные с технологической точки зрения физические свойства источников, позволяющие длительно эксплуатировать их в автономных установках различного типа при минимальных затратах энергии.

Для получения радиоактивного изотопа Co-60 нерадиоактивный металлический кобальт заготавливают в виде дисков или цилиндров нужных размеров, помещают в специальные металлические герметические стаканы и загружают в ядерный реактор, где подвергают облучению потоком тепловых нейтронов в течение нескольких месяцев и даже лет в зависимости от требуемой удельной активности. После облучения стаканы вскрывают и образовавшиеся радиоактивные источники Co-60 помещают в двойные ампулы из нержавеющей стали, которые герметизируют с помощью электросварки.

Изотоп Cs-137 выделяют из смешанных продуктов деления, образующихся в ядерных реакторах, в виде спрессованных в форме таких же дисков или цилиндров солей радиоактивных хлорида цезия и сульфата цезия, упаковывают в аналогичные ампулы из стали.

Транспортируют и хранят источники излучений в специальных контейнерах, оборудованных свинцовой защитой. В аналогичных контейнерах они, как правило, находятся в нерабочем состоянии или в так называемом «режиме хранения». В зависимости от взаимодействия между источником и объектом облучения конструктивно облучательные установки делят на три основных типа: источник облучения неподвижен, к нему перемещается объект облучения; источник облучения на время облучения перемещается в рабочую камеру с неподвижным объектом облучения; источник облучения на время облучения перемещается в рабочую камеру, а объекты облучения перемещаются относительно него.

Среди изотопных источников наиболее распространены гамма-установки с долгоживущими радионуклидами Co-60 и Cs-137.

На рис. 22 представлена схема гамма-установки для облучения объектов большого размера.

В рабочей камере 1 расположены излучающие элементы, которые могут находиться в рабочем положении 3 или в хранилище 4 (при таком положении помещение 1 доступно для людей). Объекты для облучения погружаются в контейнеры 5 и по транспортной линии 6 доставляются дистанционно к облучателю 3. Все помещения находятся под дозиметрическим контролем 13. Источник излучения ядерных реакторов состоит из  $\gamma$ -излучения, быстрых и тепловых нейтронов, осколков деления. Ускорители заряженных частиц – устройства, ускоряющие электроны или ионы в электрическом поле (магнитное поле может быть использовано для управления потоком заряженных частиц). Различают два основных конструктивных типа ускорителей: линейные, в которых заряженные частицы движутся прямолинейно, и циклические, в которых движение идет по круговой траектории.

а

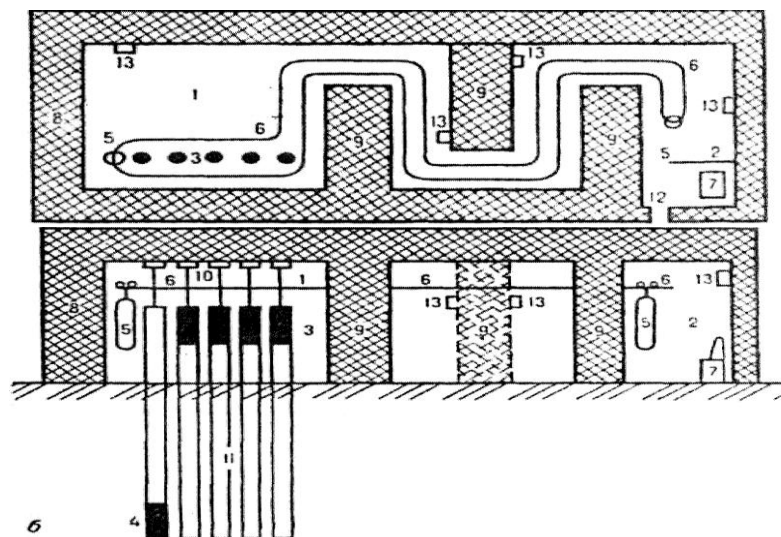


Рис. 22. Схема гамма-изотопного источника для облучения контейнеров:

а — вид сверху, б — вид сбоку;

1 — камера для облучения; 2 — помещение для загрузки контейнеров; 3 — источник излучения в рабочем положении; 4 — он же в положении хранения; 5 — контейнер;  
6 — транспортная линия для контейнеров; 7 — пульт управления; 8 — бетонная защита; 9 — зубцы защитного лабиринта; 10 — система подъема источников из хранилища; 11 — хранилище; 12 — пультовая; 13 — система дозиметрического контроля.

По типу ускоряющего электрического поля ускорители делят на высоковольтные, в которых направление электрического поля во время ускорения не меняется, и резонансные, в которых непрерывное ускорение достигается за счет того, что заряженная частица находится в ускоряющей фазе переменного высокочастотного электрического поля.

В циклических ускорителях (циклотрон, синхротрон, синхрофазотрон и др.) требуемая энергия достигается при многократном прохождении ускоряемой частицы по окружности аппарата, в линейных (линейный индукционный ускоритель, линейный резонансный ускоритель и др.) — за счет приложения высокочастотного электрического поля к линейной периодической системе электродов. Основные элементы ускорителя — высоковольтный генератор, источник заряженных частиц (ионный источник) и система, в которой производится ускорение. В резонансных ускорителях процесс накопления частиц энергии происходит за определенное время, зависящее от требуемой энергии и типа ускоряемых частиц, поэтому они работают в импульсном режиме. Некоторые типы высоковольтных ускорителей (например, каскадный ускоритель) могут использоваться в режиме постоянного потока ускоренных частиц. Большинство типов ускорителей применяют для ускорения как электронов, так и позитронов, протонов, дейтронов,  $\text{He}^{2+}$  и положительных ионов более тяжелых элементов. Резонансные ускорители больших энергий (до десятков ГэВ) применяют в ядерной физике; линейные ускорители с энергией до десятков МэВ — в радиационно-химических исследованиях; высоковольтные электронные ускорители — в прикладных целях (используют как ускорители на энергии 0,1–0,5 МэВ с мощностью в десятки кВт, так и ускорители на энергии в несколько МэВ с мощностью до 100 и выше кВт). Перечисленные выше ускорители — аппараты с выведенным пучком заряженных частиц. Но в самом аппарате за счет заряженных частиц можно получить нейтроны или рентгеновское излучение. Нейтроны получают в нейтронных генераторах при бомбардировке ускоренными протонами или дейтронами мишеней из соединений, содержащих D, T или другие нуклиды; получаемый поток может превышать  $10^{11}$  нейтрон/с. Генераторы нейтронов наряду с ядерными реакторами используют в активационном анализе, нейтронографии. Рентгеновское излучение генерируют в рентгеновских трубках, в которых ускоренные электроны тормозятся в толстой мишени из тяжелого элемента (антикатод); при этом радиационные потери значительны. Рентгеновские трубки выпускают для получения излучений с энергиями от десятков до сотен кэВ; они могут работать в непрерывном или в импульсном режиме. Различные установки создают в облучаемой среде мощность поглощенной дозы от долей Вт/г до  $2 \cdot 10^5$  Вт/ч в стационарном режиме и  $10^8$  Вт/ч в импульсном. Ввиду сильного биологического действия ионизирующих излучений, все источники снабжены защитой из сильно поглощающих материалов (бетон, чугун, свинец); толщина защиты определяется нормами радиационной безопасности. Ионизирующие излучения создают в облучаемых объектах различные химические, физиологические и биологические эффекты. В больших дозах ионизирующее излучение угнетает жизнедеятельность растений, микроорганизмов и животных. Этот эффект лежит в основе радиационной стерилизации медицинских препаратов и инструментов, консервации пищевых продуктов. В малых дозах ионизирующее излучение служит мутагенным и активирующим фактором и используется для селекции растений, микроорганизмов (например, при получении антибиотиков), для предпосевной обработки семян. В медицине ионизирующие излучения находят применение как диагностическое средство и для лучевой терапии опухолей. Использование ионизирующих излучений в промышленности — основа радиационной технологии, частью которой является радиационно-химическая технология.

Кроме того, установки для облучения бывают стационарного типа и передвижные (транспортные).

К первому типу относятся установки МРХ-гамма-25М, ЛМБ-гамма-1М, РХ-гамма-30, «Исследователь»,

«Стерилизатор», «Стебель», «Генетик» и др. Промышленная передвижная установка «Колос» смонтирована на базе грузового автомобиля. Ее производительность при предпосевном облучении составляет около тонны семян в час при дозе 7–10 Гр. Величина дозы регулируется скоростью движения транспортера с семенами, которые после облучения сразу засыпаются в сеялки.

Стационарные мощные гамма-установки обычно представляют собой помещение с непроницаемыми для гамма-излучения стенками, в котором располагается один или несколько источников облучения, находящихся в контейнерах или укрытиях. Объект облучения подводится к облучателю и выводится в безопасную зону с помощью транспортера по специальному лабиринту, исключающему облучение персонала.

#### **Радиационная техника на основе ускорителей электронов.**

Применение ускорителей электронов началось раньше использования гамма-установок, однако последние вследствие вышеперечисленных достоинств источников излучений, а также высокой надежности в работе и простоте обслуживания распространились гораздо шире. В последнее время все больше используются установки с энергией до 3–5 МэВ.

Ввиду специфики конструкций ускорителей, индуцирующих электроны таких высоких энергий, радиационные установки на их основе представляют собой стационарные сооружения с транспортером, на который помещают облучаемую продукцию с дозиметром. Такие установки просты в управлении излучателем, не требуют специальных укрытий, имеют относительно простую конструкцию.

#### **Источники нейтронного излучения.**

Облучение нейтронами применяется довольно редко, что обусловлено сравнительно незначительным распространением ядерных реакторов и других источников нейтронов.

Наиболее широко и достаточно эффективно они используются для облучения семян растений в работах по радиационному мутагенезу.

### **Примеры использования ионизирующих излучений в сельском хозяйстве и промышленности**

#### **Продление сроков хранения ягод, фруктов и овощей.**

Особого внимания заслуживает проблема так называемой радуризации сочного растительного сырья – ягод, фруктов, овощей. Под термином «радуризация» понимают радиационную обработку различных продуктов в дозах, подавляющих жизнедеятельность микроорганизмов и позволяющих продлить срок хранения.

При температуре 4–5°C срок хранения увеличивается в 2,5–3 раза при дозе 2–3 кГр. Срок хранения неповрежденных томатов увеличивается в 2–4 раза при температуре до 10°C.

#### **Радиационная консервация продукции растениеводства и плодоводства.**

Дозы выше 10 кГр приводят к полной гибели подавляющего большинства видов микроорганизмов и могут быть рекомендованы для радиационной консервации продукции растениеводства. Важнейшим и совершенно уникальным свойством радиации является то, что при ее применении в качестве консервирующего средства не требуется других мер по соблюдению стерильности, так как облучение позволяет осуществить процесс стерилизации непосредственно в уже упакованном виде. Кроме того, при радиационной обработке в продуктах не снижается содержание витаминов – главного компонента, составляющего ценность овощей и фруктов.

При столь высоких дозах облучения за счет разрушения некоторых пигментов, образования продуктов окисления и некоторых других радиационно-химических реакций могут изменяться цвет и вкусовые качества продуктов.

#### **Радиационная технология продления сроков хранения мяса и мясных продуктов.**

Многолетний опыт многих стран свидетельствует о том, что облучение свежего мяса гамма-излучением или электронным излучением в дозах 1–5 кГр позволяет увеличивать срок его хранения при 0–4°C в несколько раз. Этот прием получил название **радуризации**.

С целью борьбы с сальмонеллезом облучают также яйца домашней птицы. При дозе 5 кГр количество наиболее стойких штаммов сальмонеллы снижается в них более чем в 100 раз.

Дозы гамма-излучения порядка 20–24 кГр полностью дезинфицируют мех норки, песца, лисицы, кролика.

#### **Использование радиации в медицине с целью стерилизации.**

Метод лучевой стерилизации медицинских изделий находит широкое применение как в нашей республике так и других странах. Стерилизуют шприцы, иглы, хирургические перчатки, перевязочные материалы, некоторые лекарственные препараты. Особенно перспективен метод для обеззараживания изделий разового пользования, изготовленных из пластмасс. Стерилизуют трупный материал (кости, хрящи, сосуды), искусственные сосуды, сердечные клапаны и трахеотомические трубки из пластмасс, нити кетгута и др. Как правило, стерилизация изделий проводится в упаковке из бумаги, стекла, пластмасс, и они сохраняют свою стерильность до 3–4 лет. В г. Минске в пятой клинической больнице на базе цезиевой гамма-установки «Ставрида» создан центр по радиационной стерилизации медицинских изделий для практических нужд больницы.

#### **Модификация древесины радиационно-химическим способом.**

Под воздействием излучения высоких энергий в мономере образуются радикалы, которые приводят к полимеризации. Применение нейтронного излучения исключается вследствие явления остаточной активности. Для пропитки древесины используют мономеры винилового ряда, которые легко полимеризуются под действием радиации. Это соединение с общей формулой  $\text{CH}_2 = \text{CHX}$ , например, стирол –  $\text{CH}_2 = \text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)$ , метилметакрилат –  $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$  и др. Все молекулы имеют двойную связь  $\text{C} = \text{C}$ , которая легко разрывается, что приводит к образованию радикалов, которые затем дают длинную

полимерную молекулу.

Таким образом, сущность радиационно-химической модификации заключается в образовании единого, химически связанного комплекса древесины с высокомолекулярным пропитывающим веществом.

В модифицированной древесине водопоглощение снижается на 60%, набухание – в 6 раз, предел прочности на изгиб увеличивается на 30%.

#### **Получение бетонополимеров радиационно-химическим методом.**

Полученные легкие бетонополимеры имеют прочность на изгиб в 3,7–7 раз больше, чем непропитанные, прочность на сжатие – в 2,7–3,9, прочность на растяжение – в 2,4 – 4,8 раза больше.

У ячеистого бетона водопоглощение снижается более чем в 8 раз, что исключает применение гидроизоляции. Образцы выдерживают 500 циклов оттаивания – замораживания.

#### **Радиационно-химическая модификация полиэтилена.**

Облученные полиэтиленовые изделия сохраняют свою форму при температуре 150–200°C и выше, по механическим свойствам они не уступают каучуку. Электрическая прочность этих изделий увеличивается в 2 раза.

### **Задание 1. Определение поглощенной дозы облучения при стерилизации с помощью химического дозиметра.**

Измерение поглощенной дозы производят на спектрофотометрах типа СФ-36, СФ-46 и других по коэффициенту пропускания по длине волны 512А°. Коэффициент пропускания необлученного дозиметра принят за 100%.

#### **Устройство и работа спектрофотометра.**

Устройство спектрофотометра СФ-46 представлено на рис.23.

В основу работы спектрофотометра положен принцип измерения отношения двух световых потоков: потока, прошедшего исследуемый образец, и потока, падающего на исследуемый образец (или прошедшего через контрольный образец).

Световой пучок из осветителя попадает в монохроматор через входную щель и разлагается дифракционной решеткой в спектр. В монохроматический поток излучения, поступающий из выходной щели в кюветное отделение, поочередно вводятся контрольный и исследуемый образцы. Излучение, прошедшее через образец, попадает на катод фотоэлемента в приемно-усилительном блоке. Электрический ток, проходящий через резистор R, который включен в анодную цепь фотоэлемента, создает на резисторе падение напряжения, пропорциональное потоку излучения, падающего на фотокатод.

Значение измеряемой величины выводится на цифровое табло или стрелочный прибор.

#### **Оборудование и приборы.**

1. Спектрофотометр СФ-36 или СФ-46.
2. Пленочные дозиметры.
3. Калибровочные графики для определения дозы.

**Порядок выполнения задания.** 1. Нажмите кнопку «Сеть» и выдержите прибор во включенном состоянии не менее 30 мин (перед включением проверьте наличие заземления).

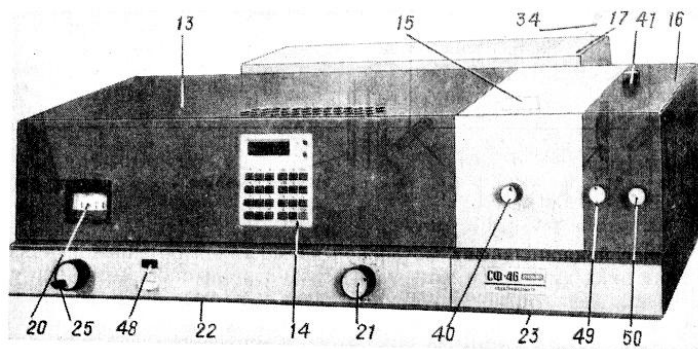


Рис.23. Устройство спектрофотометра СФ-46.

2. Закройте фотоэлемент, установив рукоятку 41 переключателя шторы в положение «ЗАКР», и переключателем 21 установите ширину щели 0,15 мм.

3. Установите в держатель от одного до трех дозиметров, в четвертую позицию держателя может быть установлен контрольный дозиметр (образец). При отсутствии образца измерение будет проводиться относительно воздуха (100% пропускания).

4. Установите держатель на каретку в кюветном отделении.

5. Установите требуемую длину волны, вращая ручку длин волн.

6. Установите рукояткой 41 и рычажком 34 в рабочее положение фотоэлемент и источник излучения, соответствующие выбранному спектральному диапазону измерения.

7. Установите рукояткой 50 стрелку измерительного прибора на ноль.

8. Установите на пути потока излучения контрольный образец, перемещая каретку рукояткой 40.

9. Установите рукоятку 49 в положение «ОТКР» (фотоэлемент открыт).

10. Установите стрелку измерительного прибора на деление 100%, вращая ручку 21 механизма изменения ширины щели.

11. Установите в рабочее положение измеряемый дозиметр, перемещая каретку ручкой 40 в положение 2, 3 и 4 и снимите показания со шкалы измерительного прибора.

12. Определите по оптической плотности поглощенную дозу.
13. Закройте фотоэлемент, установив рукоятку 49 в положение «ЗАКР».
14. Откройте крышку кюветного отсека и достаньте дозиметры.
15. Для снятия показаний с другой партии дозиметров повторите пункты 1–6.

**Примечания.** 1. При выведении из потока излучения измеряемого образца и введении контрольного образца стрелка измерительного прибора должна вернуться на деление 100%. При необходимости подкорректируйте ноль измерительного прибора.

2. Перед каждым новым измерением, когда неизвестна величина выходного напряжения, следует устанавливать ширину щели 0,15 мм во избежание засвечивания фотоэлементов.

3. Снимать показания можно только при плотно закрытой крышке кюветного отделения. Открывать крышку можно при установленной в положение «ЗАКР» рукоятке переключения шторки.

#### **Контрольные вопросы**

1. Для каких целей используется технологическая дозиметрия?
2. Что такое радиобиологическая технология (РБТ)?
3. Какая техника используется для РБТ?
4. Какие основные требования предъявляются к установкам ионизирующих излучений?
5. Как изготавливают гамма-излучающие источники?
6. Как устроен электронный облучатель?
7. Где используются нейтронные облучатели?
8. В каких областях сельского хозяйства и промышленности наиболее широко используют ионизирующие излучения?
9. Что из себя представляют химические дозиметры?
10. Объясните принцип определения поглощенной дозы с помощью пленочных и индикаторных дозиметров.