

Рис. 1. Консистентні криві течії поліетилену високої густини для каналів 2×32 та 8×32 за температури 210°C: криві течії – суцільні лінії; розрахункові дані - ◊

### Висновки

Наведений у статті метод зведення кривих течії до інваріантного виду дає змогу підвищення точності визначення реологічних характеристик розплаву поліетилену і можливість використання результатів вискозиметричного експерименту для розрахунку опорів прямокутних каналів довільного перетину.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку можуть бути направлені на виявлення впливу індексу течії на реологічні характеристики розплаву полімерів.

### Література

1. Жданов, Ю.А. Метод определения скорости скольжения и истинной кривой течения полимеров по неинвариантным реологическим характеристикам [Текст] / Ю.А. Жданов, Л.А. Иванова, Д.Д. Рябинин // Респ. межв. научно-техн. сб. "Химическое машиностроение". – 1973. – № 18. – С. 50–57.
2. Сівецький, В.І. Пристінні ефекти в процесах переробки полімерних матеріалів [Текст] / В.І. Сівецький, О.С. Сахаров, О.Л. Сокольський, Д.Д. Рябинін. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 140 с.

УДК 544.54; 544.546:544.35

## ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИКАЦИИ И АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ

**В.Ф. Клепиков**

Доктор физико-математических наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Украины, директор  
Институт электрофизики и радиационных технологий  
НАН Украины  
ул. Чернышевского, 28, а/я 8812, Харьков, Украина,  
61002

Контактный тел.: (057) 704-13-60.

E-mail: ntcefo@yahoo.com

*Розглянуто особливості технологій модифікації речовин і матеріалів потоками іонізуючих випромінювань. Проаналізовано новітні технології утилізації радіоактивних відходів на основі використання реакцій ядерної трансмутації*

*Ключові слова: модифікація матеріалів, іонізуюче опромінення, радіоактивні відходи*

*Рассмотрены особенности технологий модификации веществ и материалов потоками ионизирующих излучений. Проанализированы новейшие технологии утилизации радиоактивных отходов на основе использования реакций ядерной трансмутации*

*Ключевые слова: модификация материалов, ионизирующее излучение, радиоактивные отходы*

*The features of the modification technologies of substances and materials by flows of ionizing radiation are considered. The latest technologies of radioactive waste utilization based on nuclear transmutation reactions are analyzed*

*Keywords: modification of materials, ionizing radiation, radioactive waste*

## 1. Введение

К основным практическим результатам ядерной и радиационной физики не без основания можно отнести использование радиационно-стимулированных изменений в облучаемых средах, лежащих в основе большинства процессов, реализуемых в радиационных технологиях. Развитие ядерной науки и техники, использование излучения радионуклидов и электрофизических источников ионизирующего излучения, особенностей взаимодействия излучения с веществом послужило основой для разработки радиационных технологий, технических средств и методов их реализации. Ядерные, радиационно-физические и радиационно-химические технологии в своем развитии интегрировали последние достижения в области радиационной физики и химии, приборостроения, информатики, открывают широкие возможности для проведения научных исследований, как в ядерной физике, так и в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и многих других областях народного хозяйства.

Радиационные технологии основаны на полевых воздействиях электромагнитных волн широкого спектра частот и энергии квантов излучения – от инфракрасного и ультрафиолетового излучения с энергией квантов (1 -130) эВ до радиоактивного излучения (энергия более 200 эВ), при котором проявляются корпускулярные свойства электромагнитных волн (электроны, протоны, нейтроны, ионы и т.д.). Развитию радиационных технологий способствовала как возможность использования естественных источников радиоактивного излучения (например, на основе изотопов кобальта), так и электрофизических установок (ускорителей элементарных частиц, генераторов тормозного излучения, ядерных реакторов и пр.

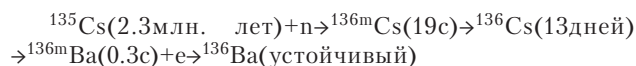
Воздействие излучения на вещество даже в области ИК– и УФ–излучения способно переводить его в состояние, характеризующееся повышенной реакционной способностью, что может быть использовано в химико-технологических процессах (активация атомов, молекул; ускорение химических реакций и т.д.). Воздействие высокоэнергетический излучений (длина волны менее 10 нм) вызывает процессы ионизации вещества, приводящие к образованию электрических зарядов, нарушению кристаллической решетки, генерации вторичного (например, тормозного) излучения. Целый ряд радиационных технологий базируются на способности ионизирующих излучений производить разрыв химических связей в веществе, активировать атомы и молекулы за счет образования заряженных частиц. Высокая энергия ионизирующих излучений позволяет проникать на значительную глубину внутрь вещества, что чрезвычайно важно для промышленной реализации радиационных технологий. Для исключения образования радиоактивных нуклидов (ядерных реакций) в облучаемом веществе уровень энергии ионизирующих излучений, применяемых в радиационных технологиях, ограничивается значениями, не превышающими 8 – 10 МэВ.

## 2. Радиационные технологии на основе ядерных реакций

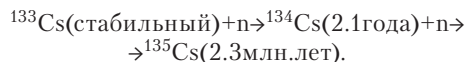
### 2.1 Трансмутационные технологии утилизации ядерных отходов.

Утилизация ядерных отходов отработанного топлива, содержащего целый ряд высокоактивных радионуклидов с очень большим периодом полураспада (от тысяч до миллионов лет), связана с решением проблемы гарантированной изоляции отходов от окружающей среды на длительный срок в глубоких подземных хранилищах. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование трансмутационных технологий, обеспечивающих перевод долгоживущих радионуклидов в короткоживущие, что позволяет значительно сократить сроки долговременного захоронения (от десятилетий до сотен лет). Трансмутация, как процесс преобразования одного радионуклида в другой, предполагает инициирование ядерных реакций в ядрах долгоживущих радионуклидов на ядерных реакторах, удовлетворяющих определенным энергетическим требованиям и возможности реализации репроцессинга, ограничивающего преобразование короткоживущих радионуклидов в долгоживущие. В процессе нейтронного облучения в реакционной установке большинство долгоживущих радионуклидов превращаются в короткоживущие (часть из которых может использоваться в качестве ядерного топлива), кроме этого за счет поглощения нейтронов актинидами образуются новые долгоживущие продукты с более высокой массой, что вызывает необходимость организации поэтапного репресинга. При этом возникают большие сложности с трансмутацией урана, цезия и других актинидов, составляющих основную массу отработанного топлива, в результате преобразования которых возникают долгоживущие продукты деления. Следует отметить, что трансмутация подходит лишь для радионуклидов с высоким сечением захвата нейтронов. Существуют изотопы, которые данным методом переработать невозможно. Существующие концепции развития трансмутационных технологий включают в себя не только процессы ядерного сжигания нежелательных радионуклидов в быстрых реакторах, но и радиохимические методы выделения актинидов, выбор нейтронного спектра (быстрого или теплового) и стратегии рециклирования и дозовых нагрузок. Как показывает анализ, трансмутация плутония и минорных актинидов в быстрых реакторах радиохимически и экологически намного менее выгодна по сравнению с их сжиганием (использованием в качестве топлива) в высокопоточных специализированных реакторах-трансмутаторах.

Механизм трансмутации высокоактивных радионуклидов основан на реакциях захвата нейтронов и расщеплении ядер. Реакции, основанные на захвате нейтронов, могут привести как к преобразованию долгоживущих радионуклидов в короткоживущие:



так и созданию долгоживущих радионуклидов, например как в случае захвата нейтрона  $^{135}\text{Cs}$ :



Наличие в отработанном топливе смеси изотопов  $^{133}\text{Cs}$  и  $^{135}\text{Cs}$  а также высокоактивного  $^{137}\text{Cs}$ , разделение которых практически невозможно, приводит к тому что эффект от трансмутации  $^{135}\text{Cs}$  практически сводится к нулю за счет захвата нейтрона  $^{133}\text{Cs}$  и преобразования его в  $^{135}\text{Cs}$ . Аналогичная ситуация наблюдается и с процессом трансмутации радионуклидов  $^{239}\text{Pu}$  (24 000 лет),  $^{240}\text{Pu}$  (6 500 лет),  $^{242}\text{Pu}$  (380 000 лет) в  $^{241}\text{Pu}$  (14 лет) и производных его распада в результате реакций деления ядра:  $^{241}\text{Am}$  (430 лет),  $^{237}\text{Np}$  (свыше 2 млн лет). При трансмутации радионуклидов посредством реакций деления образуются как короткоживущие продукты деления, так и долгоживущие. Проблема трансмутации состоит в том, что преобразование долгоживущих изотопов в короткоживущие возможно осуществить с помощью быстрых нейтронов, для генерации которых и осуществления соответствующих реакций необходимо специальное оборудование. В большинство существующих реакторов атомы урана расщепляются медленными нейтронами, которые не могут расщепить накапливающиеся по мере выгорания ядерного топлива побочные долгоживущие продукты (плутоний, нептуний, америций). Создание специальных реакторов для трансмутации трансурановых элементов а в перспективе осуществить трансмутацию минорных актинидов (трансурановых элементов *Np, Am, Cm*) позволит в десятки и сотни раз снизить проектные сроки захоронения радиоактивных отходов.

Для практической реализации трансмутационных технологий необходимо проведение активных научных исследований, создание экспериментальных установок с возможностью варьирования величины кинетической энергии нейтронов для целенаправленного запуска реакций деления ядер тех или иных радионуклидов, установления оптимальных энергетических порогов быстрых нейтронов на всех этапах репроцессинга трансмутации. Реакционные установки для трансмутации радионуклидов в большинстве своем должны использовать комбинации схем реакторов и связанных с ними технологий репроцессинга, обеспечивающих производство (как побочный продукт) топлива для реакторов на быстрых нейтронах и подкритических реакторов на базе ускорителей. В существующих в настоящее время концепциях трансмутации радиоактивных отходов основная роль отводится разработке быстрых подкритических систем, управляемых ускорителями, поиску и развитию моделей ядерных реакций и экспериментальных данных по сечениям нейтронных реакций, множественности нейтронов и гамма-квантов для различных изотопов, выходам запаздывающих нейтронов и пр. [1]. Разрабатывается идея совместно с Объединенным институтом ядерных исследований использования протонов высокой энергии для генерации нейтронов из массивной мишени, состоящей из обедненного урана.

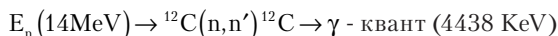
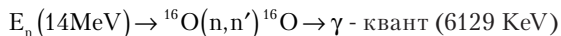
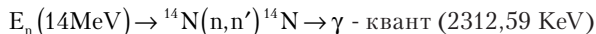
**2.2 Обнаружение взрывчатых веществ методом нейтронного анализа.** В настоящее время во многих странах мира в целях обеспечения безопасности и борьбы с терроризмом производится досмотр грузов внутри перевозимых контейнеров и конструктивных полостей и пространств между стенками и

перекрытиями контейнеров для обнаружения скрытых взрывчатых веществ (ВВ) и наркотиков. Досмотр перевозимых грузов осуществляется с помощью инспекционно-досмотровых комплексов, использующих для сканирования  $\gamma$ -излучение радиоактивных изотопов  $^{60}\text{Co}$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) или высокоэнергетического тормозного  $\gamma$ -излучения, создаваемого ускорителем электронов. Поглощение и рассеивание  $\gamma$ -квантов зависит от плотности и атомной структуры материала, через который они проходят. Система детектирования и визуализации регистрируемых потоков  $\gamma$ -излучения обеспечивает возможность контроля пространственного распределения различных материалов и изделий в контейнере путем яркостной градации их плотности. Это позволяет увидеть на изображении аномалии объектов, отличающиеся от содержимого в контейнере. Существующие радиационно-физические методы дистанционного контроля закрытых контейнеров (багажа) не дают возможности однозначно обнаружить ВВ, так как такие системы используют метод, основанный на различной поглощающей способности излучения веществами, что позволяет фактически наблюдать только проекцию распределения плотности в контейнере. Такой метод эффективен в случае, когда объект, являющийся несанкционированным вложением, состоит из атомов, существенно отличающихся от основного (фонового) груза. В случае же, когда основной (заявленный) груз имеет химическую формулу, сходную по составу с взрывчаткой (например, взрывчатку удобно маскировать в сахаре или азотном удобрении), их обнаружение по принципу "просветки" невозможно. Слабая чувствительность метода по обнаружению ВВ, заэкранированных толстостенными металлическими перегородками контейнеров и объемами расположенных в них разнообразных грузов, высокий уровень ложных показаний и низкий уровень эффективности обнаружения малых объемов ВВ ограничивает их применения при досмотре грузов.

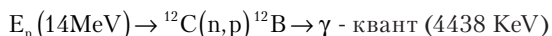
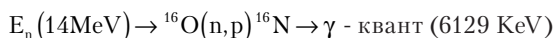
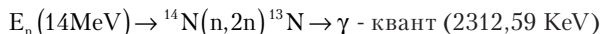
Наиболее приемлемым методом решения этой задачи является метод нейтронного анализа, основанный на взаимодействии нейтронов с ядрами атомов облучаемого вещества и измерении их отклика, например гамма-излучения ядерных реакций. Преимуществом такого метода является возможность глубинного зондирования пучками нейтронов больших объемов груза и экранирующих металлоконструкций из-за большой проникающей способности нейтронов и возможности регистрации стимулированных ими гамма-излучения ядерных реакций. Гамма-излучение испускается в результате реакций радиационного захвата и (или) неупругого рассеяния нейтронов, реакции активации.

Получить информацию о химических элементах, в которых инициированы ядерные реакции, можно на основе проведения анализа спектра вторичного излучения возбужденных ядер, который зависит от состава и структуры ядра. Известно, что характерными химическими элементами ВВ являются водород (*H*), кислород (*O*), азот (*N*) и углерод (*C*). Наиболее действенным методом идентификации этих элементов является метод нейтронного анализа. Нейтроны несут нулевой заряд, поэтому достаточно глубоко проникают в объем вещества, взаимодействуют с ядрами элементов (возбуждают ядра), что вызывает гамма излучение.

Основными реакциями неупругого рассеяния нейтронов на ядрах N, O, C, входящих в состав ВВ (например, тринитротолуола) являются



Нейтронно-активационные реакции на атомах, входящих в состав ВВ:



Идентификация ВВ осуществляется путем использования сложного программного обеспечения для спектрального анализа, обеспечивающего возможность определения относительной концентрации элементов, например, углерода к азоту, углерода к кислороду и т.п. Возможными вариантами обнаружения ВВ могут быть метод нейтронно-активационного анализа и метод нейтронного зондирования, основанный на анализе гамма-излучения, возникающего в процессе неупругого рассеяния нейтронов на ядрах элементов вещества. Нейтронно-радиационный метод анализа, основанный на анализе спектров гамма-излучения реакций неупругого рассеяния нейтронов на ядрах анализируемого вещества является наиболее приемлемым для практической реализации так как информативность реакций неупругого рассеяния на 1–2 порядка выше, чем информативность активационных реакций для обнаружения ВВ [2].

На рис.1 представлена блок-схема одного из вариантов построения стационарной системы досмотра грузовых контейнеров для выявления ВВ методом дистанционного нейтронного зондирования. Способ регистрации и идентификации места локализации ВВ – компьютерная томография, гамма-видение система получения многоэлементных изображений с использованием кодированных апертур. Независимо от того, какой метод нейтронного анализа используется, к детекторам  $\gamma$ -излучений предъявляются чрезвычайно жесткие требования в части радиационной стойкости и минимальной чувствительности к излучению источника нейтронов, высокое быстродействие и энергетическое разрешение в заданном диапазоне регистрируемых излучений. В методах нейтронного анализа могут быть использованы как радионуклидные источники нейтронов, так и электрофизические – генераторы импульсного, непрерывного или модулированного потока нейтронов, способных генерировать моноэнергетические нейтроны (2,5 и 14,1 МэВ). Широко используемый источник генерации нейтронов – это электроразрядная трубка, заполненная смесью дейтерия и трития (DT), которая представляет собой импульсный ускоритель дейтронов, способный генерировать поток нейтронов порядка  $10^{11}\text{сек}^{-1}$  с энергией 14,1 МэВ.

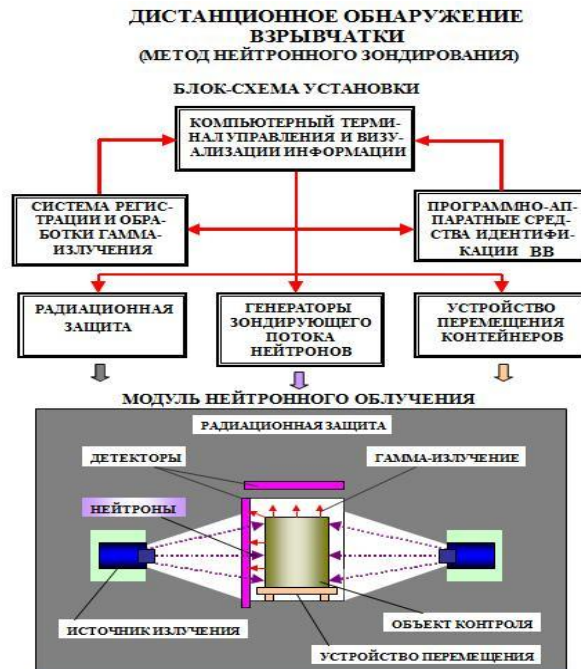


Рис. 1. Дистанционное обнаружение взрывчатки методом нейтронного зондирования.

Электрофизические генераторы моноэнергетических нейтронов позволяют реализовать новейшие радиационные технологии обнаружения ВВ, повысить чувствительность методов нейтронного анализа при использовании пороговых реакций, реализации методов меченых нейтронов или наносекундного нейтронного анализа а также принципов пространственно-временной селекции регистрируемого вторичного излучения от исследуемого объекта.

### 3. Радиационно-физические и радиационно-химические технологии

Одним из направлений развития ядерной физики являются радиационно-физические и радиационно-химические технологии, которые по сравнению с традиционными технологиями имеют ряд неоспоримых преимуществ: высокая скорость и управляемость иницированных процессов, сравнительно низкая температура реакций, отсутствие химических инициаторов и катализаторов [3].

В настоящее время ионизирующие излучения широко используются для изменения свойств материалов. Радиационно-химические процессы являются следствием образования ионов, возбужденных молекул и радикалов в материалах при их облучении, что обеспечивает возможность иницирования цепных и не цепных реакций определенной направленности при достаточно низкой температуре. Для осуществления радиационно-химических процессов в промышленных масштабах используются как изотопные источники  $\gamma$ -излучения (например,  ${}^{60}\text{Co}$ ), так и ускорители электронов с энергиями от 0,3 до 10 МэВ и ядерные реакторы (используется  $\gamma$ -излучение изотопов в активной зоне ядерного реактора или вблизи от неё). Ускорители электронов используются для облучения



сравнительно тонких слоев материала. Преимуществом их применения являются высокие мощности доз, а также радиационная и эксплуатационная безопасность их применения.

На практике из основных направлений использования радиационных технологий, рис. 2, интенсивно изучаются и применяются цепные радиационно-химические процессы полимеризации и прививочной сополимеризации, синтеза ряда низкомолекулярных соединений, отверждения связующих а также модификации поверхности материалов путём пропитки их мономерами и последующей полимеризации  $\gamma$ -излучением. Дозы, необходимые для радиационного отверждения и сшивания полимерных материалов составляют 0,02-0,4 МГр. Не цепные реакции характерны для радиационно-химических процессов «сшивания» отдельных макромолекул полимеров, обеспечивающих повышение их термостойкости и прочности, формирование «эффекта памяти» и термоусадки. Облучение тонких полимерных пленок многозарядными ускоренными ионами используется для получения ядерных фильтров и трековых мембран (диаметр пор от 0,05 до 10 мкм и выше).

Радиационно-термический крекинг и радиационно-термическая активация твердофазных реакций позволяют за счет синергетического использования тепловой энергии, сообщаемой традиционными способами, и энергии, передаваемой мощными источниками ионизирующего излучения, снизить температуру протекания реакций на сотни градусов и увеличить выход светлых нефтепродуктов, повысив их качество [4 -5].

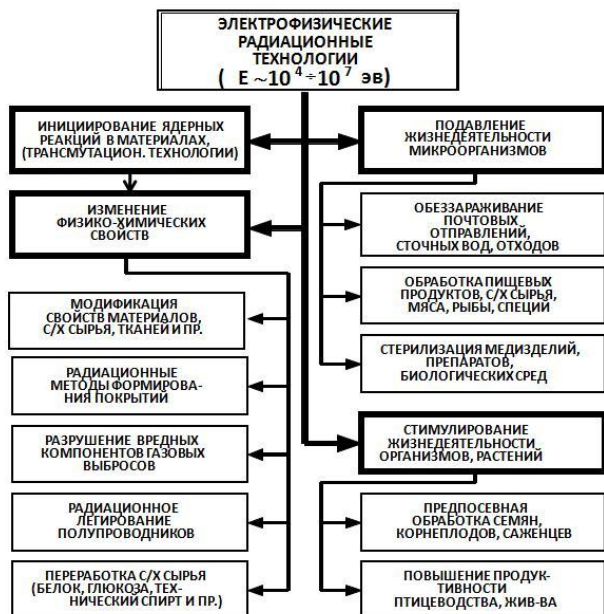
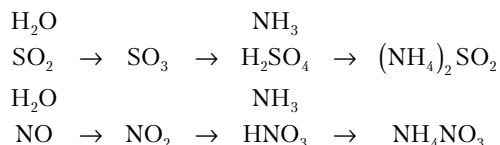


Рис.2. Основные направления развития радиационных технологий

Большие промышленные перспективы имеют радиационные технологии, направленные на решение экологических, сельскохозяйственных, и продовольственных проблем, использование в медицине (стерилизация медицинской продукции, лечение онкологических заболеваний: контактная и лучевая терапия,

киберножи и пр.). Технологии реализуются на основе использования как радионуклидных источников излучения на основе  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  (а в последние годы - радионуклидов  $^{152}\text{Eu}$  и  $^{154}\text{Eu}$ ), так и мощных ускорителей электронов.

**3.1 Радиационные технологии утилизации выбросных газов.** Радиационные технологии позволяют решить одну из наиболее важных экологических проблем – уменьшить выброс в атмосферу вредных примесей, таких как  $\text{SO}_2$ , оксиды азота  $\text{NO}_x$  и др. При облучении основных компонентов выбросных газов образуются ионы, свободные радикалы, вторичные электроны и атомы, которые участвуют в окислительно-восстановительных реакциях с  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и другими примесями. При комплексировании радиационно-химических реакций с термическими и введением в реакционную зону химических активаторов (кислород, аммиак), облучение выбросных газов пучком электронов с энергией в пределах 0.3 – 1.0 МэВ и дозой облучения ~ 20 кГр обеспечивает эффективность удаления  $\text{SO}_2$  до 95%,  $\text{NO}_x$  – 85%. Примерами таких реакций являются:



При этом образовавшиеся твердые продукты переработки (сульфаты и нитраты аммония) могут быть использованы как компоненты минеральных удобрений или возвращены в технологический процесс.

**3.2 Радиационные технологии в сельском хозяйстве.** Перспективность применения радиационных технологий на основе электрофизических источников излучения в сельском хозяйстве обусловлена возможностью решения целого комплекса проблем, к которым относятся: извлечение питательных веществ из целлюлозосодержащего сырья, обеззараживание навозных стоков, предпосевная стимуляция семенного материала, обеспечивающая повышение его посевных и урожайных качеств [6], активацию ростовых процессов, уничтожение амбарных насекомых и др. Эффективность переработки растительного сырья с целью извлечения из него углеводов, кормового белка, пищевых продуктов, технического спирта и пр. может быть существенно повышена при воздействии на него проникающего ионизирующего излучения. Под действием - квантов или ускоренных электронов происходит деструкция целлюлозного комплекса растительных материалов, разрыв химических связей в макромолекулах, аморфизация материала, заметно увеличивается растворимость в водных средах. По мере облучения увеличивается число молекул с низкой степенью полимеризации, возрастает доля легкогидролизуемых полисахаридов, суммарное количество органических кислот. Облучение растительного сырья с добавками мочевины, фосфатов и пр. приводит к образованию в нем химически активных групп  $\text{COOH}$ ,  $\text{CO}$ , способных связывать элементы  $N$ ,  $P$  и др., являющиеся ценными кормовыми добавками для животноводства.

Перспективным является радиационный метод обработки растительного сырья с целью ускорения ферментативного гидролиза полисахаридов для получения глюкозы и кормового белка и микробный синтез, основанный на ускорении роста микрофлоры на углеводах, облученных целлюлозосодержащих материалов, образующихся при ферментативном гидролизе. При современном уровне переработки в Украине древесины и сельскохозяйственных отходов (солома, подсолнечная лузга, кукурузные початки и пр.) радиационные технологии могут дать существенный вклад в решении задачи развития отечественного агропромышленного производства.

**3.3. Радиационная обработка пищевых продуктов.**

В 1980 году Объединенный комитет экспертов МАГАТЭ, ФАО и ВОЗ дал заключение, согласно которому облучение любого пищевого продукта с общим средним уровнем дозы до 10 кГр не создает никакой токсикологической опасности, а также не представляет никаких микробиологических или питательных проблем для потребления. Для облучения пищевых продуктов разрешено использовать источники  $\gamma$ -излучения ( $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , тормозное  $\gamma$ -излучение, генерируемое электронными ускорителями) и электронов (электронные ускорители). Уровень энергии ионизирующих излучений выбирается из условия исключения наведенной радиоактивности в облучаемых материалах/продуктах (для  $\gamma$ -излучения не более 5 МэВ, электронного излучения - 10 МэВ).

В настоящее время в 45 странах допускается потребление как минимум одного облученного продукта, во многих странах создаются пилотные промышленные установки для обработки пищевых продуктов (корнеплоды, свежие фрукты и овощи, злаки, масло-содержащие семена, свежая рыба и морепродукты, сухофрукты, специи, мясо птицы и продукты на его основе), проводятся маркетинговые исследования. Сравнительно небольшие дозы облучения (в пределах 0,5 -50 кГр в зависимости от вида и цели обработки) позволяет удлинить сроки хранения пищевых продуктов (как в замороженном, так и не замороженном состоянии), замедлить процессы прорастания овощей при их хранении, осуществить стерилизацию мяса и мясных продуктов, дезинсекцию зерна, овощей, фруктов, специй и пр.

В результате проведения комплексных исследований физико-химических процессов, происходящих при радиационной стерилизации мясной продукции, были оптимизированы режимы обработки, обеспечивающие токсикологическую безопасность и стабильность пищевых групп (протеины, липиды, вода и пр.) облученной продукции [7,8]. В качестве базовых безопасных доз рекомендованы следующие дозы облучения:

1. Для свежего целого (в тушах) и переработанного (рубленного, фарш и пр.) мяса - не более 4,5 кГр;
2. Для мороженого и сильно мороженого (-18°С) целого и рубленного мяса - не более 7 кГр.

Процесс стерилизации мяса, наряду с уничтожением возбудителей болезни, обеспечивает продление сроков его хранения. Было установлено, что при облучении сырого мяса в вакуумной упаковке доза в 0,5 кГр обеспечивает снижение содержания естественной микрофлоры на два

порядка, а при дозах 1 и 2,5 кГр содержание микрофлоры снижается на 3 и 4 порядка соответственно (болезнетворная флора практически полностью уничтожается дозой в 1 кГр).

В Институте ядерных исследований НАН Украины разработана низкотемпературная технология пастеризации электронами рыбных пресервов с минимальным содержанием солей (3 -5 % и менее) и полным отсутствием каких-либо консервантов. Процесс уничтожения вредной микрофлоры осуществляется ускоренными электронами с энергией около 5 МэВ, при этом полностью сохраняются компоненты продуктов, которые при других способах пастеризации могут разрушаться. Пресервы могут храниться при температурах 5 - 10 °С до 60 - 70 суток.

**3.4. Обеззараживание почтовых отправлений.**

Почтовые отправления остаются одними из наименее защищенных потоков продукции, так как предметом вложений могут являться, как известно, штаммы опасных бактерий и вирусов, либо пластиковая взрывчатка, что имело место еще до пика террористической деятельности [9].

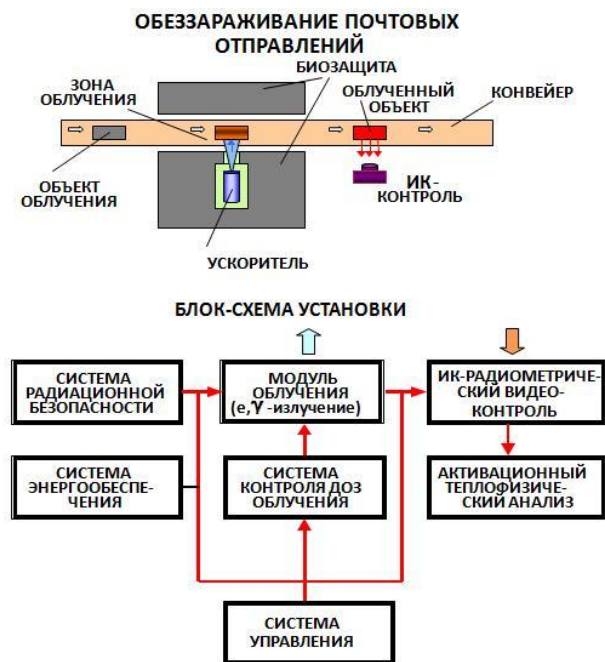


Рис.3. Установка для обеззараживания почтовых отправлений

Обеззараживание (уничтожение микроорганизмов) содержимого закрытых контейнеров, посылок, писем и т.п. целесообразно проводить с использованием электрофизических источников электронов и/или гамма-излучения (летальные дозы порядка 15000 – 25000 Гр.), рис.5. Контроль рабочей зоны облучения, а также выявление "инородных" предметов/веществ в письмах, пакетах, бандеролях можно осуществлять с помощью цифровой ИК-радиометрии, основанной на регистрации градиентов тепловых полей (ИК-видение) объектов контроля [10], содержащих вещества с различными теплофизическими характеристиками и свойствами.

---

### Заключение

---

Развитие ядерных трансмутационных, радиационно-физических и радиационно-химических технологий неразрывно связано как с совершенствованием источников генерации ионизирующих излучений, так и методологии выбора энергии излучения и дозовых нагрузок, стратегии рециклирования процессов облучения и стимулирования ядерных и химических реакций, физических процессов. Для практической реализации трансмутационных технологий целесообразна разработка специализированных высокопоточных подкритических реакторов, управляемых ней-

тронными потоками электрофизических установок, поиск и развитие моделей ядерных реакций, выбор оптимальных энергетических порогов быстрых нейтронов на всех этапах технологии репроцессинга.

Широкое внедрение ядерных и радиационно-химических технологий в промышленности и сельском хозяйстве сдерживается отсутствием высокоэффективных источников ионизирующих излучений большой и средней мощности, удовлетворяющих критериям высокой производительности, конструктивной целесообразности, эксплуатационной и экологической безопасности.

---

### Литература

1. Швецов, В.А. Трансмутация отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов - один из вариантов стратегического развития атомной отрасли [Текст] / В.А. Швецов // Еженедельник ОИЯИ "Дубна" N 6 (2003). – С. 23-28.
2. Плахотник, В.Ю. Поляков Г.А. Нейтронные методы детектирования взрывчатых веществ и локализация взрывоопасных объектов с помощью кодированных апертур [Текст] / В.Ю. Плахотник, Г.А. Поляков // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2007 – Випуск 2/2007 (43). Частина 2, с.97-101.
3. Базалеев, Н.И. Электрофизические радиационные технологии [Текст]: монография / Н.И. Базалеев, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко.-Харьков:Акта.-1998.- 206с
4. Набока, А.М. Концепция разрушения и предотвращения роста асфальто-смоло-парафиновых отложений на основе использования воздействий импульсов ионизирующего излучения на высокомолекулярные соединения [Текст] / Набока, А.М., Рождественский В.А., Червинский В.П., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В., Новиков В.Е. //Восточно-Европейский журнал передовых технологий.-2005.-№4/2 (16).-с.79-82.
5. Базалеев, Н.И. Синергетический подход к оценке радиационных эффектов в облучаемых материалах [Текст]/ Н.И. Базалеев, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко // ВАНТ сер. Физика рад. поврежд. радиац. материаловедение.-1998. №2-с.32-36.
6. М.І.Базалеев, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко и др [Текст]/ Пристрій для передпосівної обробки насіння //Патент України на корисну модель № 51130. Опубл. Бюл №13. 12.07.2010
7. Базалеев Н.И., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В., Шаркевич И.Н. [Текст] Влияние электрофизической радиационной обработки на качество и сроки хранения мясной продукции. //Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень.-№1(9).-2003
8. В.И.Сахно. Разработка технологии производства рыбных пищевых продуктов с использованием электрофизических установок [Текст]/ В.И.Сахно, И.Н.Вишневский, С.П.Томчай // Вопросы атомной науки и техники. Сер. ЯФИ-1997 т.2. в.4,5.-с.172-174
9. Banduryan V.B., Bazaleev N.I., Klepikov V.F., Lytvynenko V.V., Sidorenko A.S. Broadband IR-sensors based on metal-oxide thin films for detection of low-contrast objects// Abstr. NATO ARW Nanoscale Devices – Fundamentals and Application.-Kishinev, Moldova.-2004.-p.50.
10. Базалеев, Н.И. Метод визуальной ИК-радиометрии электронных потоков [Текст] / Н.И. Базалеев, Б.Б. Бандурян, В.В. Брюховецкий, В.Ф. Клепиков, В.В. Литвиненко // Вопросы атомной науки и техники.-2003.- №3(83).-с.146-150