

УДК 608

ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Владимир Степанович Бутцев, доктор физико-математических наук, профессор, научный сотрудник Объединенного Института Ядерных Исследований (Дубна)

Аннотация

Предполагается использовать наукоёмкие технологии, развиваемые в Объединенном Институте Ядерных Исследований, для поиска новых путей гармонизации отношений в интересах устойчивого развития в системе природа-общество-человек. Рассматриваются реальные прорывные технологии, в том числе: система очистки дымовых газов промышленных электростанций и металлургических предприятий; электроядерный способ производства энергии и трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов; технологии обезвреживания высокотоксических соединений (зарин, зоман, табун и др.); система мониторинга концентрации в атмосфере радиоактивных инертных газов криптона и радона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивое развитие, система природа – общество – человек, прорывные технологии.

NUCLEAR PHYSICS TECHNOLOGIES ARE IN THE INTEREST OF A SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Vladimir Stepanovich Butzev, Doctor of physic-mathematical sciences, the professor, scientific associate of the Joint Institute for Nuclear Research (Dubna)

Abstract

Science, intensive technology being developed in the Joint Institute for Nuclear Research, are expected to be used for the research of new means of relations' harmonization in the interests of steady development in the system 'nature-society-man'. Real breakthrough technology are examined. Among them are: clean-up system of flue gases of industrial power plants and metallurgical enterprises; electronuclear means of energy production and long-living radioactive isotopes' transmutation; neutralization highly-toxic combinations' (sarin, soman, tabun, etc) technology; the system of monitoring of concentration radioactive inert gases krypton and radon in atmosphere.

KEYWORDS: sustainable development, the system 'nature-society-man', breakthrough technology.

Главной задачей исследований является использование наукоёмких технологий для улучшения жизненного уровня людей и поиска новых путей гармонизации отношений в системе природа – общество – человек.

Естественно, что в настоящее время на первое место выдвигаются экологические программы. Стратегия выживания человека может строиться только на почве согласования со стратегией природы. Естественная биота уже не способна компенсировать возмущения среды, производимой жизнедеятельностью человека и сегодня необходимо найти выход из того тупика, в который завела человечество идеология покорения природы.

Например, рассмотрим глобальное потепление на земле. Одна из причин этого – сжигание углеводородного топлива. Можно ли предотвратить глобальное потепление ещё как-то, кроме ограничения промышленных выбросов? Конечно, с помощью разработки новых технологий, создания новых источников энергии, нужны новые проекты, призванные уменьшить количество ультрафиолета, проникающего на землю.

В настоящий момент способом радикального решения этой задачи, видимо, является разработка и широкое внедрение различных технологий по утилизации промышленных выбросов.

Одно из перспективных направлений – это экологические ускорители, которые на наш взгляд найдут широкое применение при уничтожении химического оружия в очистке дымоходных газов промышленных электростанций и металлургических предприятий.

Одним из наиболее обещающих и принципиально новым средством для инициирования и проведения различных физических и химических процессов в индустрии будущего являются интенсивные пучки заряженных частиц мощностью 100 кВт и более, в особенности пучки электронов. С технологической точки зрения электронные пучки – это ничто иное, как поток «идеальной» энергии в хорошо контролируемой форме. Такие пучки могут быть легко модулированы во времени и в пространстве. Кроме того, они могут управлять потоками вторичных электронов. В результате чрезвычайно высокой гибкости рабочий режим ускорителя электронов может быть оптимально согласован с требованиями технологического процесса. Поэтому уникальные возможности электронных пучков привлекают большое внимание и приводят к быстрому развитию исследований в области радиационной физики и химии, радиационной модификации полимеров и других материалов.

Ведутся разработки и исследование нового, не традиционного направления в технике ускорителей для радиационных технологий. Разрабатываемый ускоритель имеет четыре основные технологические особенности:

- Использование холодных катодов с пороговыми и эмиссионными характеристиками допускает применение синусоидального напряжения для формирования импульсов тока электронного пучка;
- Много пучковый, много оконный вариант ускорителя позволяет конструировать систему вывода пучка с очень большой суммарной площадью выводных окон посредством увеличения числа малых окон;
- Малые размеры выводных окон позволяют уменьшить толщину выводных фольг и потери энергии электронов в фольгах;

Использование источника высокого напряжения, основанного на коаксиальном вакуумном резонаторе, существенно улучшает добротность и эффективность преобразования энергии промышленной сети в энергию электронного пучка.

Для проверки указанных выше новых технологических решений была создана масштабная модель ускорителя с параметрами: энергия электронов – 200 кэВ, импульсный ток пучка – 1 А, длительность импульса 10 мкс, частота повторения импульсов – 18 кГц, средняя мощность пучка 20 кВт.

Предложенный метод состоит из двух стадий. На первой стадии дымоходные газы подвергаются облучению жестким ультрафиолетом (с соответствующим спектром излучения) в постоянном электрическом поле, которое приводит к частичному разделению NO и SO₂ от остальной части дымоходных газов. На второй стадии эта частично разделенная смесь NO и SO₂ подвергается воздействию газообразной струи, состоящей из молекулярной смеси N₂ + H₂ и пучка быстрых электронов с энергией 200-400 кэВ. Это облучение ведет к преобразованию NO_x и SO₂ окислов в чисто воздушные компоненты (N₂+H₂O) и образованию чистой серы вместо большой массы нитратов и сульфатов аммония в традиционном методе «Ebara». В этом методе полностью исключается использование опасного аммиака. Общая масса субпродукта (чистой серы) уменьшается в 10 раз. Стоимость субпродукта (чистой серы) выше, чем солей аммония в методе «Ebara». Благодаря уменьшению количества газа, облучаемого электронным пучком, и уменьшению требуемой энергии электронов (200-400кэВ), потребление энергии резко сокращается. Это аналогично использованию катализатора в химической реакции.

Наряду с указанными выше исследованиями были проведены работы по изучению возможности повышения эффективности радиационных технологий посредством использования вторичных электронов для возбуждения молекул газовой смеси. Поскольку число вторичных электронов существенно превышает число первичных быстрых электронов, их участие в процессе возбуждения может существенно усилить плазмо-химическое инициирование процессов конверсии вредных окислов газовой смеси. В традиционных ускорителях для радиационных технологий, которые имеют непрерывный пучок электронов, возможность применения постоянного во времени электрического поля для увеличения энергии вторичных электронов до величины, превышающей порог возбуждения, ограничена электрическим пробоем плазменного промежутка. Поэтому предлагается использовать ВЧ электрическое поле.

В разрабатываемом ускорителе импульсный ток электронного пучка формируется ВЧ полем. Средняя скважность импульсов тока примерно равна 10, поэтому возникает возможность использования постоянного электрического поля для ускорения вторичных частиц. За время длительности импульса тока 10мкс электрический пробой не успевает

развиться, и напряженность поля может быть увеличена до величины, достаточной для получения требуемой энергии вторичных электронов.

Измерения интенсивности спектральных линий оптического излучения возбужденных молекул показали, что плотность возбужденных молекул может быть увеличена в десятки раз. Приведены зависимости интенсивности различных спектральных линий от напряженности электрического поля, в которое инжектируется электронный пучок 200 кэВ модели ускорителя. Процесс увеличения эффективности возбуждения молекул газа имеет простой пороговый характер. Пороговая напряженность электрического поля немного отличается для различных спектральных линий и лежит в районе 6-8 кВ/см.

Полученные предварительные результаты показывают, что имеется принципиальная возможность существенного увеличения эффективности возбуждения молекул электронным пучком и повышения производительности радиационно-стимулированных процессов конверсии вредных примесей газовой смеси.

Вода из скважины выкачивается насосом и подается в двухкамерный электролизер, где происходит частичная диссоциация воды с разделением примесей по катионному и анионному составам. Электролизер питается от выпрямительного агрегата. После диализа вода поступает в первичный отстойник, где происходит коагуляция взвешенных частиц на сольватном слое активизированных в электролизере гидроксидах металлов. Отстоенная вода насосом перекачивается в электростатический нейтрализатор, в котором смешивается с воздухом, нагнетаемым вентилятором через устройство окисления воздуха. В нейтрализаторе происходит интенсивный массообмен и дробление частичек воды с активным озонированием лучевыми активаторами воздуха. Подготовленная таким образом вода поступает во вторичный отстойник – накопитель очищенной воды, подвергающийся электронному облучению для дополнительного обеззараживания и стабилизации воды.

Электроядерный способ производства энергии и трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов подкритическими системами, управляемыми внешними источниками заряженных частиц. Этот метод в атомной энергетике, основан на делении тяжелых ядер в подкритических системах, управляемыми внешними источниками заряженных частиц.

Электроядерный способ включает получение потока тепловых нейтронов, образующихся в протяженных мишенях из свинца, висмута или урана под действием пучка заряженных частиц.

Созданный поток тепловых нейтронов, в свою очередь, производит деление тяжелых ядер урана – 238 с обогащением до 10% урана – 235 в тепловыделяющих элементах, размещенных в подкритической сборке, представляющей собой куб с ребром 120 см, составленный из блоков замедлителя (полиэтилен, графит, гидрит циркония).

Подкритическая сборка обеспечивает коэффициент умножения нейтронов в пределах $K_{eff} \leq 0,975$ и тепловую мощность $3 \div 10$ КвТ, достаточную для изучения процессов электроядерной технологии и скоростей реакции трансмутации младших актинидов и долгоживущих осколков деления.

Для повышения эффективности процесса, скорости и равномерности выгорания делящихся материалов облучение зарезанными частицами подкритической системы ведётся двумя внешними источниками с двух сторон системы и ядерные материалы окружают графитом.

В настоящее время в мире еще нет ни одной электроядерной устоек, однако такие устройства с различным уровнем тепловой мощности проектируются и уже близки к началу строительства в нескольких странах. Главными достоинствами электроядерных АЭС является их безопасность и безотходность. С выключением пучка заряженных частиц, падающих на мишень, прекращается ядерная реакция. Производство электроэнергии электроядерной АЭС будет в десятки раз дешевле, чем на электростанциях с углеводородным топливом. Успех создания нового поколения АЭС, по нашему мнению, усилит перспективные преимущества ядерной энергетики, повысит её инвестиционную привлекательность, удешевит производство электроэнергии.

Рассмотрим получение энергии и трансмутации радиоактивных изотопов подкритическими системами, управляемыми внешним источником заряженных частиц, и увеличение длительности кампании в результате уменьшения частоты перегрузок тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) за счет достижения равномерности энерговыделения и равномерности выгорания делящихся материалов при одновременном снижении экономических затрат.

Выделение энергии осуществляется в цепочке ядерных превращений под действием нуклонов, π – мезонов, γ – квантов, которые приводят к образованию низкоэнергетических нейтронов и которые, в свою очередь, вызывают деление тяжелых ядер (Th, U, Pu, Np, Am), при которых происходит образование нейтронов, γ – квантов и выделение энергии в веществе за счет замедления образующихся осколков деления. Инициирование такой сложной цепочки ядерных превращений осуществляется пучками частиц (n, p, π – мезонов),

падающих на мишень, окруженную подкритической средой (бланкет), в которой происходит умножение нейтронов и в которой, собственно, и происходит крупномасштабное выделение энергии, интенсивный захват нейтронов радиоактивными ядрами топливного цикла, помещенных в подкритическую систему и приводящий к переводу их в короткоживущие или стабильные, а в случае размещения стабильных изотопов и производство источников ионизирующего излучения за счет реакций поглощения нейтронов или за счет реакций расщепления (n , xn , ur , p , xn , ur , za).

Основной особенностью предлагаемого способа производства энергии является развитие и образование нуклон-мезонного каскада в размножающейся среде под действием ускоренных до высоких энергий заряженных частиц, формирование высоких потоков нейтронов и осуществление крупномасштабного деления ядер Th, U, Pu, Np, Am.

Основная цель работы - создание действующей модели электроядерной установки и проведение на ней в последующие годы широкой программы научно-технических исследований, необходимых для создания полномасштабных электроядерных и трансмутационных установок промышленного назначения. Конечная цель - создание нового поколения безопасных и безотходных реакторов.

Уран – полиэтиленовая подкритическая сборка (максимальный коэффициент умножения $\approx 0,975$) представляет собой куб с ребром 120 см.

Сборка собирается из кубиков полиэтилена с готовыми каналами, для установки ТВЭлов, расположенных в прямоугольной решетке с шагом равным 20 мм (рис. 1).

В центре сборки размещается нейтронопроизводящая мишень Рb (80 мм × 80 мм × 580 мм). В активной зоне подкритической системы предусмотрены экспериментальные каналы $\varnothing 20$ мм для размещения мишеней (в том числе и радиоактивных) и каналы для мониторинга плотности потока нейтронов.

Рассматривается возможность создания установки на базе тепловыделяющих элементов для исследовательских реакторов типа ЭК–10 из UO_2 с обогащением 10% и с числом топливных стержней, обеспечивающих коэффициент умножения M равным 50. , сборка содержит 265 таких ТВЭЛов.

Загрузка топлива почти оптимальная. Подкритическая сборка имеет систему компенсации реактивности, которая состоит из управляемых на расстоянии стержней, содержащих карбид бора.

Облучения исследуемых образцов производится в экспериментальных каналах с диаметром 20 мм, расположенных на расстоянии от центра сборки 10 см. Сборка (рис. 2)

окружена графитовыми брусками (графит высокой чистоты), которые являются боковыми рефлекторами (ширина бруска – 300 мм). Подкритическая сборка устанавливается на подвижную площадку, которая позволяет перемещать сборку в двух направлениях относительно оси пучка протонов.

Для измерения различных функционалов в системе предусмотрены два аксиальных канала в графитовом отражателе и один радиальный канал на половине высоты сборки. Предусмотрена возможность установки свинцовой мишени в форме параллелепипеда, состоящего из 12 неподвижных свинцовых блоков с размерами $80 \times 80 \times 50$ мм² в центре сборки.

Особое внимание обращено на аспекты ядерной безопасности подкритической сборки. Предлагаемый проект и состав материала подкритической сборки позволяют поддерживать величину коэффициента умножения $k_{eff} \leq 0,98$ для всех возможных изменений внешних факторов (температура, давление, а также в гипотетическом случае затопления сборки водой).

Для того, чтобы гарантировать действие подкритического устройства как надежное и безопасное, предусматриваются следующие основные системы: система контроля защиты; система дозиметрического контроля; система сигнализации; система снабжения электричеством; физическая система защиты и охранная сигнализация; противопожарная система; система охлаждения; система связи; контейнер.

Вычисления показали, что в экспериментальных каналах подкритических систем, в принципе, могут быть сформированы различные спектры нейтронов, которые будут иметь место в будущих системах: быстрые, резонансные и тепловые. В нашем случае создается сборка с тепловым спектром нейтронов. Вычисления также показали, что энергетические спектры для тепловой сборки отличаются от любых реакторных спектров. А именно, в диапазоне энергии от 1 до 10^4 eV, зависимость нейтронного потока от энергии очень слаба, и позволяет получать данные по нейтронным сечениям для резонансной области. Измерение энергетических спектров в различных точках внутри экспериментальных каналов выполняются на основе активационной техники.

В области энергии 30 keV – 15 MeV применяются тонкопленочные счетчики, трековые твердотельные детекторы. Для определения спектра нейтронов в области энергии больше 15 MeV используются реакции расщепления на следующих ядрах: ^{232}Th , $^{235, 236, 238}\text{U}$, ^{237}Np , $^{239, 240, 241}\text{Pu}$. На ядрах ^{10}B и ^6Li будут использоваться реакции (n, α) .

В области энергии $< 30 \text{ keV}$ применяются фольги из индия, золота, вольфрама, марганца. Измерение спектра нейтронов в области энергий $E \approx 15\text{-}20 \text{ МэВ}$. Применяются пороговые реакции (n,p) , (n,α) , на ядрах Al, Ti, Pb, Bi.

Восстановление энергетического спектра нейтронов в подкритической системе производится на основе методов, развитых в физике реакторов и нейтронной физики на основе измеряемых экспериментально активационных интегралов:

$$I = \int s(E) \phi(E) dE, \text{ где } s(E) - \text{ есть секция различных реакций;}$$

$(g) (n, \chi_i, \nu, Z, A_i)$ для широкого набора остальных ядер.

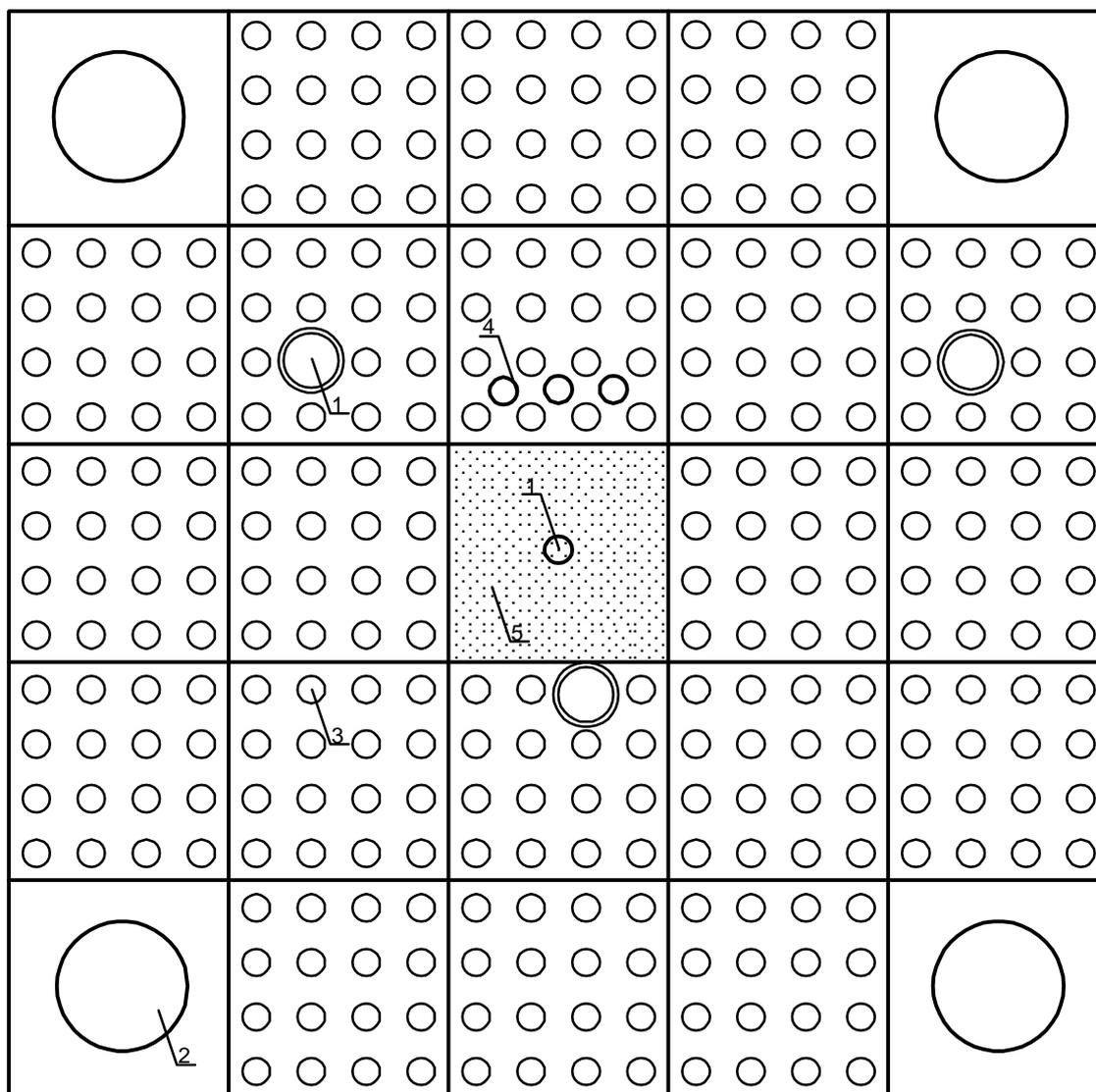
Подкритическая система с коэффициентом размножения $keff=0,98$ облучалась быстрыми нейтронами с энергией $E_n=3,1 \text{ МэВ}$. Нейтроны генерировались генератором нейтронов НГ-121. Поток испущенных нейтронов составлял $A_1=1 \times 10^8$ нейтрон/с.

Длина активной зоны сборки составляет 50 сантиметров. «Точка» рождения нейтронов генератором НГ - 12 - 1 имеет координату $z = -10 \text{ см}$.

В качестве второго источника нейтронов использовался ^{252}Cf , имеющий поток нейтронов $A_2=2 \times 10^7$ нейтрон/с.

Источник располагался на оси OZ в точке с координатой $Z=45 \text{ см}$.

Из результатов (рис. 3) следует, что плотность потока нейтронов вдоль оси OZ в активной зоне подкритической системы становится почти постоянной. Среднее отклонение плотности потока нейтронов и, соответственно, выгорание делящегося топлива в диапазоне $Z = 2 - 48 \text{ см}$ не превышает 5%.

**Условные обозначения:**

- 1 – экспериментальные каналы;
- 2 – каналы для мониторингования нейтронного потока;
- 3 – каналы для размещения топлива;
- 4 – каналы для стержней компенсации;
- 5 – нейтроно-производящая мишень.

Рис. 1. Центр подкритической сборки

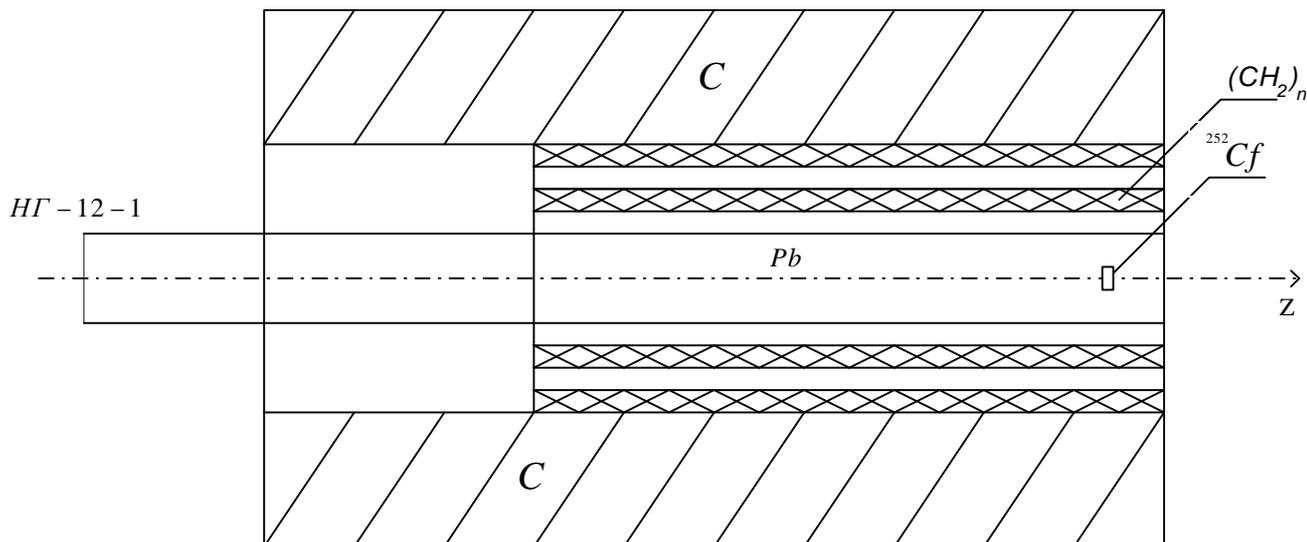
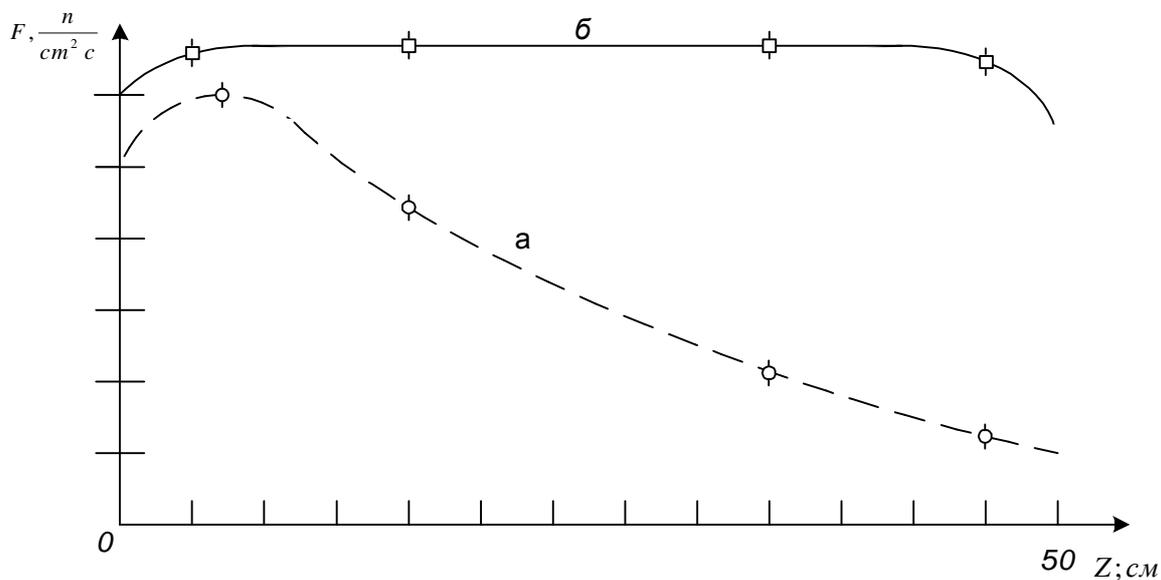


Рис. 2. Схема эксперимента по двухстороннему облучению подкритической системы быстрыми нейтронами.



Условные обозначения:

а – источник нейтронов НГ-12-1;

б – два источника нейтронов НГ-12-1 и ^{252}Cf .

Рис. 3. Функция плотности потока медленных нейтронов вдоль оси Z

Учитывая, что будущее за атомной энергетикой, на первое место выдвигается вопрос масштабности проблемы.

Известно, что в 31 стране мира эксплуатируется 432 ядерных энергоблока и еще 53 – строится. Например, Япония подтвердила строительство 20 новых ядерных энергоблоков, Китай наметил к 2020 году довести суммарную мощность до 50 ГВт. Россия ведёт строительство АЭС в Иране, Индии, Беларуси. Все эксплуатирующиеся энергоблоки необходимо модернизировать, поэтому все ведущие страны вкладывают миллиарды долларов в научные разработки нового поколения АЭС. Масштабное использование технологии электроядерных установок при проведении модернизации АЭС даст колоссальную прибыль тем инвесторам, которые получают право на использование перспективной технологии создания нового поколения АЭС.

Следует также отметить, что с учетом всей энергетической цепочки производства и потребления электричества АЭС дают Выход CO₂ в 40-100 раз меньше по сравнению с современными энергетическими цепочками углеводородного топлива. Отличительной чертой ядерной энергетики является включение во внутренние издержки производства расходов на обеспечение безопасности, обращение с радиоактивными отходами (РАО) и снятие энергоблоков с эксплуатации. Эти расходы включаются в цену энергии АЭС.

Все выше изложенное свидетельствует не только об огромном экономическом эффекте, но и об экологическом аспекте исследуемой проблемы. Финансовая выгода от вложения средств в это направление будет огромна, нужны финансовые вложения только на первом этапе создания прототипа АЭС.

Достаточно привести оценку на примере ввоза в Россию облученного ядерного топлива (ОЯТ). Ввозимое ОЯТ имеет огромную ценность, поскольку его можно использовать в новых типах АЭС, предлагаемых нами. Причем прибыль не только в контрактных деньгах. Дело в том, что в конце концов ОЯТ можно переработать и снова пустить в оборот. С учетом нынешней тенденции обеспеченности сырьевыми ресурсами это приобретает более чем существенное значение. За последние 20 лет тенденция такая-нефти больше извлекается, чем открывается. Прогноз специалистов грустный-лет через 15-20 дешевая нефть, которую легко извлечь, закончится, и добыча будет связана с гигантскими финансовыми затратами. А поэтому неизбежно придется снова поставить вопрос о ядерной энергетике.

Известно, что в облученном ядерном топливе содержится более 90% ценного сырья, которое может быть вновь использовано в ядерной энергетике. Не случайно Франция активно занимается этим бизнесом: для фирмы «Кожема», как известно, основная деятельность-переработка ОЯТ. Что касается России, то наша страна является одним из

крупнейших поставщиков «свежего» ядерного топлива на атомные станции различных стран. Получив законодательное право забирать обратно, то топливо, которое мы поставляем на мировой рынок, на переработку, мы получаем право существенно поддержать своего поставщика «свежего» ядерного топлива. Сейчас Россия претендует на 20 тысяч тонн «чужого» ОЯТ. Это сырье для изготовления 19,5 тысяч тонн «свежего» ядерного топлива.

Для изготовления такого количества нового топлива, не будь сырья в виде ОЯТ, нужно было бы извлечь 6 миллионов тонн урановой руды. 6 миллионов тонн урановой руды – цифра для России весьма существенная (разведанные запасы урана у нас оцениваются всего-навсего в 180 миллионов тонн). Россия из года в год тратит урана значительно больше, чем добывает. Нехватка урана растет. На прямой вопрос в Минатоме прямо и отвечают: его действительно не хватает. Независимые эксперты обращают внимание на то, что, возможно, уже в недалеком будущем придется экспортировать урановую руду из других стран-Австралии (запасы 900 млн. тонн) Казахстана (860 млн. тонн) или ЮАР (650 млн. тонн). Но экспорт урановой руды обошелся бы весьма в круглую сумму.

Следовательно, 20 тысяч тонн ОЯТ могли бы восполнить нехватку природного урана в стране. Этого сырья было бы достаточно и для нынешней атомной энергетики, которую в Минатоме планируют иметь завтра, послезавтра. 20 тысяч тонн ОЯТ по энергетической ценности сравнимы с производством органического топлива в России – даже при использовании традиционных технологий на уже действующих АЭС.

По оценке специалистов, изготовленное из 20 тысяч тонн ОЯТ новое топливо при использовании на традиционных АЭС с реакторными установками ВВЭР позволит заместить 410 - 470 миллионов кубометров газа. Или, наконец, 820-940 миллионов тонн угля. Россия могла бы обеспечить более 30% потребности мирового рынка обращения с ОЯТ, получив на соответствующих услугах 120 миллиардов долларов.

Создание на базе нового поколения безопасных и безотходных АЭС позволит перерабатывать более 60 - 70% ОЯТ мирового рынка, в том числе и с Российских АЭС. Это составит более 800 миллиардов долларов.

Для оздоровления экологической обстановки на Земле предлагаются новейшие технологии обезвреживания высокотоксических соединений, например химических отравляющих веществ, которых в мире накоплено огромное количество (зарин, зоман, табун, иприт, фосген, люизит, синильная кислота и др.). Патент на изобретение № 2185219 от 24.09.2001.

Способ включает получение газовой смеси обезвреживаемого токсичного соединения с активирующим процесс обезвреживания реагентом, обработку полученной газовой смеси в плазменном реакторе с облучением пучком ускоренных заряженных частиц и выведением продуктов обезвреживания. Полученный в плазменном реакторе продукт охлаждают до заданной температуры и отделяют сконденсировавшиеся при этом компоненты, которые затем возгоняют и возвращают в плазменный реактор, а компоненты, оставшиеся в газообразном состоянии, выводят в качестве продуктов обезвреживания.

Планируется создавать небольшие, компактные установки, которые будут устанавливаться в местах скопления высокотоксических соединений, это позволит повысить эффективность разложения токсичных соединений и очистки выходных продуктов процесса обезвреживания.

Предметом разработки является способ обезвреживания высокотоксичных соединений, таких как зарин, зоман, табун, иприт, фосген, люизит, синильная кислота.

Установка будет иметь развитие, состоящее в том, что обрабатываемую в плазменном реакторе газовую смесь облучают потоком ускоренных заряженных частиц. Это позволяет повысить скорость и эффективность процесса плазмохимического разложения токсичных соединений. Установка имеет другое развитие, состоящее в том, что в качестве реагента, активирующего процесс обеззараживания, используют кислород или фтор. Это позволяет подобрать активирующий газ в зависимости от вида обеззараживаемого соединения и имеющегося оборудования.

Установка имеет еще одно развитие, состоящее в том, что контролирует содержание водорода в продуктах обезвреживания и по нему судят о завершении плазмохимической обработки. Это позволяет эмпирически уточнять расчетное время завершения процесса обезвреживания.

Приведу только один пример – 2 марта 2011 года по НТВ была озвучена огромная экологическая опасность, грозящая побережью Крыма. В Чёрном море около Алушты, Ялты, Алупки обнаружены бочки с ипритом и люизитом, затопленные во время войны. Концентрация мышьяка превышает норму в 400 – 500 раз.

Можно бы привести и другие примеры, например, в Чёрном море на пути прокладки нефтепровода «Южный поток» также находится миллионы тон химических отравляющих веществ. На Балтике, где будет проходить нефтепровод «Северный поток» также находится миллионы тон химических отравляющих веществ в виде затопленных снарядов. Можно

привести ужасающие примеры хранения отравляющих химических веществ во всем мире: около Японии, Китая, Германии, Франции, Испании, России (в Сибири) и других местах.

Для измерения и контроля основных параметров, характеризующих состояние атмосферных процессов, а также для решения ряда экологических проблем (снижение риска эксплуатации АЭС и других объектов ядерно-топливного цикла и прогнозирование радиологической обстановки вблизи АЭС и на большом удалении от нее). Технический результат – расширение функциональных возможностей. Для достижения данного результата проводятся экспресс-измерения непосредственно на месте проводимого исследования. При этом определяются концентрации радиоактивных инертных газов криптона и радона в атмосфере на уровне низких фоновых значений концентраций этих исследуемых изотопов. Измерение радиоактивных инертных газов криптона и радона в атмосфере осуществляется с помощью гамма-спектрометрического анализа.

Система мониторинга концентрации радиоактивных инертных газов криптона и радона успешно используется во многих чрезвычайных ситуациях, связанных с извержениями вулканов, движением тектонических плит и землетрясениях.

Известно, что в горячей текучей мантии земли идёт медленная конвекция. Верхний холодный твёрдый литосферный слой земли этими течениями расколот на движущиеся плиты. На стыках этих плит и происходят землетрясения. Горячие потоки магмы выходящие на поверхность, создают вулканы, а застревающие и охлаждающиеся на глубине создают рудные месторождения. Все указанные процессы сопровождаются выделением инертных газов криптона (^{83}Kr) и радона (^{222}Rn). Чем выше концентрация этих газов в атмосфере, тем интенсивнее идёт процесс землетрясения или извержения вулкана.

Чрезвычайно интересно отметить, что зная геологическую историю перемещения плит, можно восстановить, где были ранее на Земле вулканы и месторождения в момент их образования.

Литература

1. Большаков, Б.Е. Закон природы, или как работает пространство – время? – М.– Дубна: РАЕН - МУПОЧ, 2002.
2. Большаков, Б.Е., Кузнецов, О.Л., Кузнецов, П.Г., Система природа-общество-человек: устойчивое развитие. – М.–Дубна: РАЕН - МУПОЧ, 2000.
3. Бутцев, В., Барашенков, В., Чигринов, С., Гудовский, В. Fast Subcritical Assembly with MOX Fuel for research on Nuclear Waste Transmutation//Известия НАН Белоруссии (серия физико-техническая): вып. 33. – 2001.

4. Бутцев, В.С., Бурнос, В.В., Марцынкевич, Б.А., Фоков, Ю.Г. Особенности формирования нейтронных полей в системах нейтроно-производящая мишень – замедлитель, облучаемых частицами высоких энергий. – Минск, 2005.
5. Бутцев, В.С., Бутцева, Г.Л. Способ обезвреживания высокотоксических соединений: Патент на изобретение № 2001125974, 2002.
6. Бутцев, В.С., Бутцева, Г.Л. Способ трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие или стабильные: Патент на изобретение № 2169405 от 30 марта 2000.
7. Бутцев, В.С., Гребенник, А.В., Павлов, А.А. Способ измерения радиоактивных инертных газов в атмосфере и устройство для его осуществления: Патент № 2369880 от 10 октября 2009.
8. Buttsev, V., Brandt, R., Vater, P. Measurements on neutron spectra emitted from 44 GeV $^{12}\text{C} + \text{Cu}$ interaction with nuclear emulsion//Nuclear Techniques: vol. 19 №10. – 1997. – p. 173.
9. Buttsev, V.S., Brandt, R., Vater, P., Kulakov, B.A. Forschung auf die herstellung der neutronen in den Cu- und Pb-taegget durch bestrahlun-gen mit 44 oder 18 GeV ^{12}C //Nuclear Techniques: vol. 19 №10. – 1997. – p. 178.
10. Buttsev, V.S., Brandt, R., Adam, I. First experiments on transmutation stadies of iodine - 129 and neptunium - 237 using relativistic protons of 3.76 GeV. – Dubna: Preprint JINR, 1997.
11. Buttsev, V.S., Brandt, R., Kulakov, B.A. Emission of relativistic heavy fragments at wide angles from the interaction of 58 GeV ^{16}O ions with thick copper Target Radiation Measurements: vol. 26. – 1997. – Dubna: Preprint JINR, 1997.
12. Buttsev, V.S., Brandt, R., Shahzad, M. I. Emission of relativistic heavy fragments at wide angles from the interaction of 58 GeV 0-16 ions thick copper target//Radiation Measurement: vol. 29. – 1998. –p. 445- 451.
13. Buttsev, V.S., Brandt, R., Wan, J. S., Ochs, M. Transmutation of radioact waste with the help of relativistic heavy ions. – Dubna: Preprint JINR, 1997.
14. Buttsev, V.S., Buttseva, G.L., Polanski, A., Puzynin, I.V., Sissakian, A.N. Research programme for the 660 MeV proton accelerator – driven MOX plutonium subcritical assembly//Topical Conference on Plutonium and Actinides. – New Mexico, USA, July 10-13 2000.
15. Buttsev, V.S., Buttseva, G.L., Puzynin, I.V., Sissakian, A.N. Research programme for the 660 MeV proton accelerator - driven plutonium subcritical assembly//Experimental Nuclear Physics in Europe ENPE 99. – Seville (Spain), 21- 26 June 1999.
16. Buttsev, V.S., Chigrinov, S.E., Korneev, S.V. Peculiarities of neutron fields formation in the Systems «Neutron producing target – moderator» irradiated by high energy particles//Вопросы атомной науки и техники (серия ядерно-физические исследования): вып. №2. – Харьков, 2006.
17. Buttsev, V.S., Chigrinov, S.E., Polanski, A., Sissakian, A.N. Research of the neutron spectrum subcritical assembly with MOX Fuel//Proseedings of the IX Int. Nucleus-Nucleus Conf. – Rio Brazil, 2006.
18. Buttsev, V.S., Polanski, A., Puzynin, I.V., Sissakian, A.N. Neutron Spectra emitted from the Lead Target Irradiated by the 660 MeV protons//Proceedings of the tenth Simposium on Radiation Measurements and Applications, 2002.