

# РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ

**А.В. Коробейников, В.П. Гинкин**

*ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им.А.И.Лейпунского, г. Обнинск*



Нейтронная терапия онкологических заболеваний предъявляет специфические требования к физическим параметрам пучков нейтронов. В настоящее время в нейтронной терапии используются многоцелевые исследовательские реакторы, которые приспособливают для медицинских целей. Область энергий, благоприятных для нейтронозахватной терапии, зависит от глубины размещения опухоли и находится в интервале от 0,5эВ до 20–40 КэВ. В работе приводятся результаты исследований по выбору материалов, которые могут использоваться в качестве замедлителя или фильтра при формировании подходящей спектральной структуры нейтронных пучков для нейтронозахватной терапии.

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей при планировании лучевой терапии является оптимизация пучков нейтронов подводимого к пациенту излучения с целью повышения эффективного воздействия излучения на опухолевые клетки и снижения воздействия на здоровые. Известно, что «чистые» источники нейтронов используются довольно редко [1]. Для повышения качества лучевой терапии используются фильтры-формирователи, которые преобразуют энергетическую структуру потоков исходных нейтронных источников в более подходящую для нейтронной терапии. Под «качеством» лучевой терапии понимается облучение таким пучком нейтронов, при котором наибольшему воздействию подвергается опухоль, а воздействие на здоровую ткань при этом минимально.

В недостижимом идеале наивысшее качество достигается тогда, когда все излучение подводится к опухоли и там остается, разрушая раковые клетки. Воздействие на здоровую ткань в таком идеальном случае отсутствует. Реальность, к сожалению, иная. Воздействие на здоровую ткань присутствует. Необходимо разработать подходы и оборудование, которые максимизируют воздействие на больную ткань и минимизируют на здоровую. Деятельность в данном направлении идет, и сама процедура нейтронозахватной терапии (BNCT) основана на подходе минимизации вредного воздействия на здоровую ткань и максимизации воздействия на опухоль.

Для решения поставленной задачи в работе проанализирован набор материалов, наиболее эффективно преобразующий энергетическую структуру исходных источников нейтронов для целей нейтронозахватной терапии.

© **А.В. Коробейников, В.П. Гинкин, 2009**

## ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИЙ ВЛИЯНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ НЕЙТРОННЫХ ПУЧКОВ

Не вдаваясь в медицинские подробности методов лечения, отметим сам принцип нейтронозахватной терапии [1–5]. В ткань опухоли вводится фармакологический препарат, содержащий изотоп  $^{10}\text{B}$ , который имеет высокое сечение поглощения нейтронов, затем опухоль облучается нейтронами. При поглощении нейтрона в реакции  $(n, \alpha)$  образуются две короткопробежные заряженные частицы, и энергия, выделяемая в реакции, поглощается, локально воздействуя на опухолевую ткань.

Оптимальное распределение по энергии пучка нейтронов, подводимого к пациенту, зависит от глубины расположения опухоли в теле пациента. Для решения поставленной задачи в работах [6–8] предлагается использовать подход расчетного построения так называемых функций влияния. Идея подхода состоит в расчете доз от набора дельтаобразных источников нейтронов, имеющих определенную энергию (энергетическую группу). Расчеты функций влияния выполнялись последовательно для набора энергетических групп для области энергий от 0 до 20 МэВ.

На рисунке 1 приведены распределения терапевтического отношения TR. Терапевтическое отношение – это отношение дозы в опухоли к максимуму дозы в здоровой ткани. Наиболее «благоприятным» для лечения опухоли на разных глубинах размещения является интервал энергий нейтронов от 1 до 30 кэВ.

Таким образом, функции влияния позволили понять, какие энергии являются предпочтительными для лечения злокачественных опухолей. Имея разные источники можно с помощью функций влияния выбрать наилучший источник с точки зрения максимальной дозы в опухоли и минимальной в здоровой ткани.

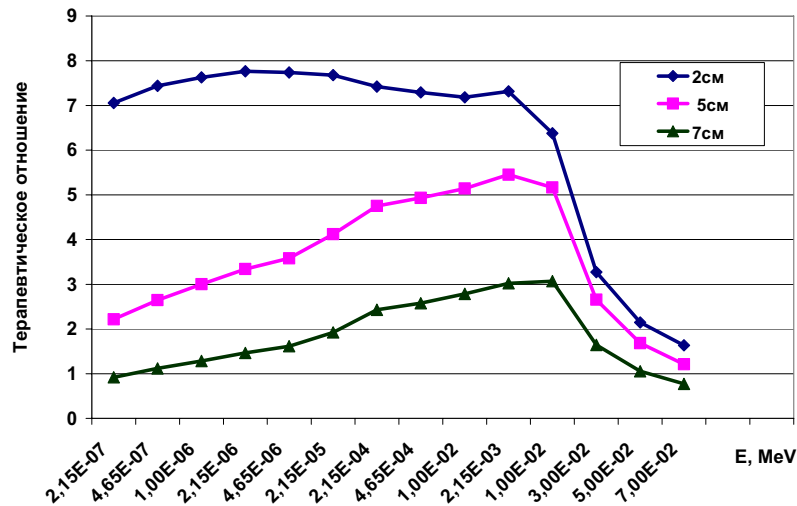


Рис. 1. Распределение значения терапевтического отношения по энергии пучка и глубине в фантоме

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ ЗАМЕДЛИТЕЛЯ ИЛИ ФИЛЬТРА

В работах [6–8] при изучении функций влияния было показано, что желательно для BNCT иметь нейтроны в энергетическом интервале ниже 30 кэВ и выше 0.5 эВ. Исследования по выбору материалов, которые могут использоваться в качестве замедлителя или фильтра при формировании подходящей спектральной структуры нейтронных пучков для BNCT, уже проводились в ряде работ [1, 3, 9–

11]. Однако, в основном, они были направлены на адаптацию конкретного источника нейтронов для целей нейтронной терапии. В данной работе предполагается оценить качество материалов в более широких предположениях о возможной форме спектра «чистого» источника нейтронов исходя из результатов, полученных при моделировании функций влияния.

Реальные нейтронные источники часто имеют значительную долю быстрых нейтронов в своем спектре. В дальнейшем (для упрощения) материалы, используемые для формирования подходящей спектральной структуры нейтронных пучков для BNCT, мы будем называть фильтрами, позволяющими осуществить сдвиг из быстрой энергетической области в эпитепловую. В связи с этим предполагается, что наиболее предпочтительными при формировании требуемого спектра пучка нейтронов являются материалы, состоящие из легких элементов с большим сечением рассеяния быстрых нейтронов и малыми сечениями поглощения в области медленных нейтронов. *Наиболее перспективным, судя по многим публикациям, являются материалы, содержащие фтор.* Связано это, прежде всего, с большими сечениями в области высоких энергий, низкими сечениями захвата нейтронов и сравнительно небольшой атомной массой. Среди фторидов традиционно рассматриваются фторид алюминия, сравнительно недавно стал исследоваться фторид магния [10]. В рамках данной работы было решено значительно расширить этот список. В таблице 1 приведен список материалов, для которых проводились исследования.

Таблица 1

**Исследуемый набор материалов**

1	D <sub>2</sub> O	12	FeF <sub>2</sub>
2	Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	13	FeF <sub>3</sub>
3	Al	14	LiF
4	AlF <sub>3</sub>	15	MgF <sub>2</sub>
5	BeF <sub>2</sub>	16	Na <sub>3</sub> [AlF <sub>6</sub> ]
6	CaF <sub>2</sub>	17	TiF <sub>4</sub>
7	CrF <sub>2</sub>	18	VF <sub>3</sub>
8	CrF <sub>3</sub>	19	ZrF <sub>4</sub>
9	CrF <sub>4</sub>	20	PbF <sub>2</sub>
10	S <sub>2</sub> F <sub>10</sub>	21	PbF <sub>4</sub>
11	NaF	22	CF <sub>2</sub>

Энергетические спектры источников нейтронов, которые можно использовать для лучевой терапии, весьма разнообразны. Нейтроны «реакторного» происхождения «располагаются» в энергетическом интервале от 10 МэВ до тепловой области. Нейтронные спектры, полученные с использованием ускорителей, основанные, например, на реакции  ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$  и энергии протонов 2,5 МэВ, ограничены сверху энергией 0,78 МэВ.

Понятно, что для адаптации исходных источников к требованию BNCT необходимо использовать такие материалы, которые бы «сдвинули» высокоэнергетическую часть спектра в область промежуточных энергий.

В данной работе приведены результаты исследований свойств разных материалов по эффективности «сдвига» спектра нейтронов в область энергий, наиболее

подходящую для BNCT. Первоначально предполагалось, что нейтроны модельного источника распределены по спектру деления. В расчетных экспериментах этот источник окружался сферическими оболочками толщиной 20, 30 и 40 см из разных материалов, приведенных в табл. 1. Расчеты проводились методом Монте-Карло с использованием кода MCNP [12]. На рисунке 2 приведены результаты расчета спектров нейтронов, прошедших фильтр и имевших первоначально форму спектра деления. «Столбиками» на этих рисунках показан желаемый для BNCT интервал энергии (0,5эВ–30кэВ). Видно, что нейтронный спектр исходного источника сместился в интервал желательных для BNCT значений. Чем значительнее этот сдвиг, тем более эффективен фильтр-преобразователь. Результаты наших исследований показали, что наиболее эффективными по сдвигу спектра среди всех материалов оказываются фториды. Материалы, не содержащие фтор ( $D_2O$ ,  $Al_4C_3$ ,  $Al$ ) показали худшие по сравнению с фторидами результаты по сдвигу спектра. Тяжелая вода перебрасывает значительную часть нейтронов в область ниже 0,5 эВ, а  $Al_4C_3$  и  $Al$  значительную часть нейтронов оставляют в области энергий выше 30 кэВ.

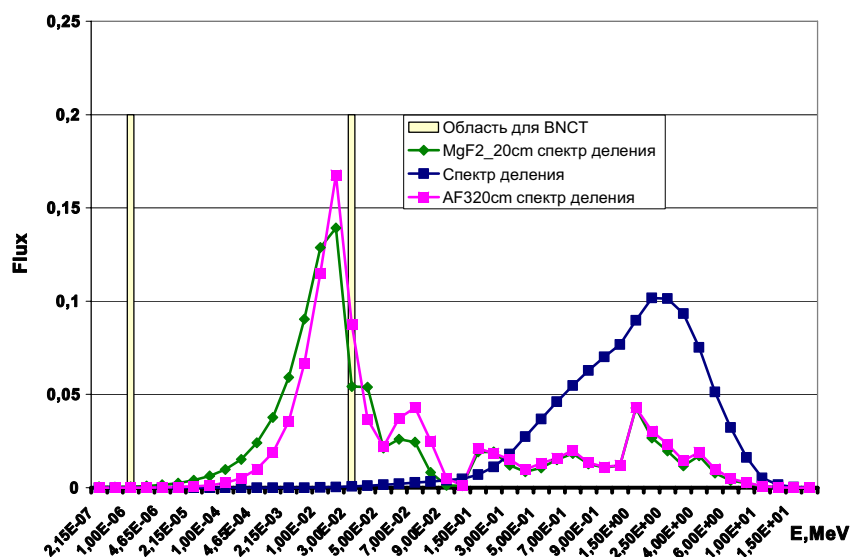


Рис. 2. Спектры нейтронов, вылетающих из сфер из  $AlF_3$  и  $MgF_2$

### Сравнение эффективности различных фторидов при преобразовании высокоэнергетических нейтронов в область энергий, необходимую для BNCT

Рассмотрим эффективность разных фторидов и сравним их с наиболее известными  $AlF_3$  и  $MgF_2$ . Сравнение будем проводить по доле нейтронов,

- 1) перешедших в интервал 0,5эВ–30кэВ;
- 2) оставшихся в области энергий выше 30 кэВ;
- 3) поглотившихся в фильтре;
- 4) оказавшихся в области энергий ниже 0,5эВ.

Понятно, что чем выше первый параметр, тем лучше. Чем ниже второй, третий и четвертый параметры, тем лучше. Для сравнительного анализа была проведена серия расчетов методом Монте-Карло для образцов из разных материалов и толщин. В качестве исходного источника был выбран спектр деления.

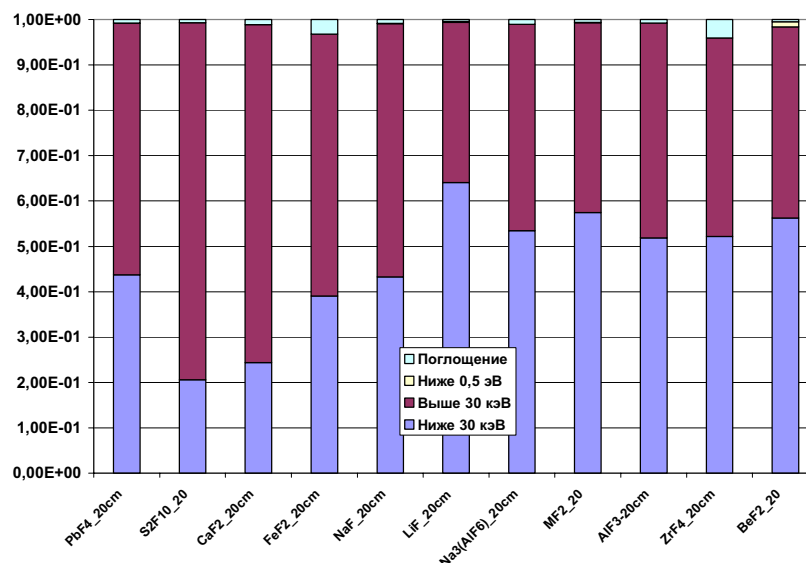


Рис. 3. Сравнение фильтров из разных материалов при толщине 20 см. Исходный источник – спектр нейтронов деления

Из результатов (см. рис. 3) видно, что для толщин 20 см  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{BeF}_2$ ,  $\text{ZrF}_4$  и  ${}^7\text{LiF}_2$  оказались в «лидирующей» по эффективности группе. Следует заметить, что требование сравнительно малого атомного веса цирконий нарушил, да и фторид свинца отстал от лидирующей группы не существенно.

Для толщин 40 см около 80% нейтронов оказались в области от 0.5 эВ до 30 кэВ для  $\text{PbF}_4$ ,  $\text{S}_2\text{F}_{10}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{Na}_3(\text{AlF}_6)$ ,  $\text{TiF}_4$ ,  $\text{AlF}_3$  и  $\text{MgF}_2$ . Однако разница по сравнению с оставшимися фторидами оказалась не столь высока. Для  $\text{BeF}_2$  весьма значительным оказался переброс нейтронов в область ниже 0.5 эВ. Неожиданно хорошие результаты по сравнению с широко известным  $\text{AlF}_3$  показал фторид свинца  $\text{PbF}_4$ .

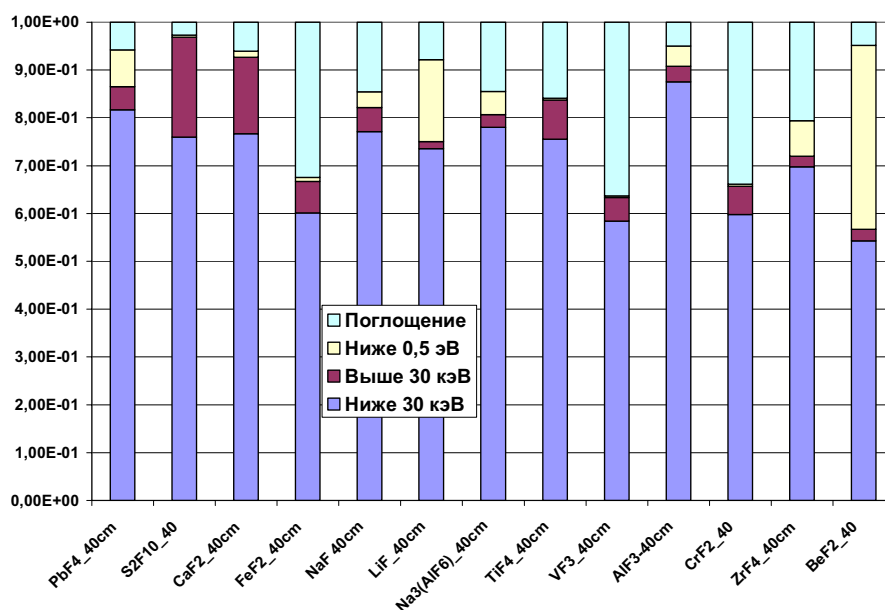


Рис. 4. Сравнение фильтров из разных материалов при толщине 40 см. Исходный источник – спектр нейтронов деления

### Сравнение эффективности различных фторидов с использованием источника нейтронов реакторного спектра

В работах [1, 13, 14] приведено описание результатов преобразования реакторных источников нейтронов для целей BNCT. В данном разделе мы попытаемся провести такие преобразования с использованием разных фторидов и сравним их эффективности с традиционными  $\text{AlF}_3$  и  $\text{MgF}_2$ . В качестве спектра источника нейтронов применялся не оптимизированный для целей нейтронозахватной терапии спектр нейтронов реактора МАРС [13]. На рисунке 5 приведены результаты расчетов по прохождению через материалы  $\text{PbF}_4$ ,  $\text{ZrF}_4$  и  $\text{FeF}_2$ . Для сравнения на этих же рисунках приводятся спектры оптимизированного для BNCT пучка реактора МАРС. Из результатов расчетов, приведенных на рис. 5, видно, что фториды циркония, свинца и алюминия дают очень похожие результаты, что не совсем согласуется с требованием иметь материалы с небольшой атомной массой. Причиной такого положения, по-видимому, является фтор, которого в рассматриваемых фторидах гораздо больше, чем металлов; кроме того, сечения фтора в области быстрых энергий выше, чем у свинца, циркония и железа. Заметим, что ядерные плотности фтора в этих фторидах довольно близки друг к другу. По нашему предположению, формирование спектра при прохождении фильтров из фторидов определяет, в основном, фтор.

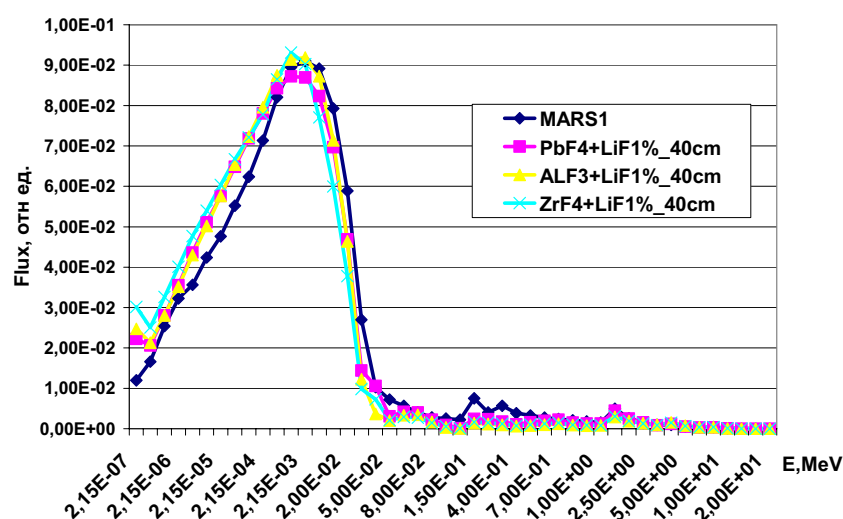


Рис. 5. Сравнение оптимизированного в работе [13] пучка реактора МАРС со спектрами нейтронов, прошедших через фильтры из  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{PbF}_4$  и  $\text{ZrF}_4$

Для изучения этого предположения проверим, как формируется спектр нейтронов при прохождении фильтра из фтора, если его ядерная плотность примерно такая же, как у фторидов алюминия и свинца. На рисунке 6 приведено сравнение фильтров из  $\text{AlF}_3$  и  $\text{F}_2$  с одинаковой ядерной плотностью фтора. Из результатов сравнения видно, что спектры нейтронов, прошедших фильтры из  $\text{AlF}_3$  и  $\text{F}_2$ , очень близки между собой. Таким образом, наше предположение вполне подтверждается, и похожесть в способности многих фторидов формировать соответствующий спектр нейтронов связана с примерно одинаковой концентрацией фтора в этих материалах.

Дополнительной особенностью разных фторидов является различие в поглощении нейтронов. Так во фториде железа доля поглощающихся нейтронов при

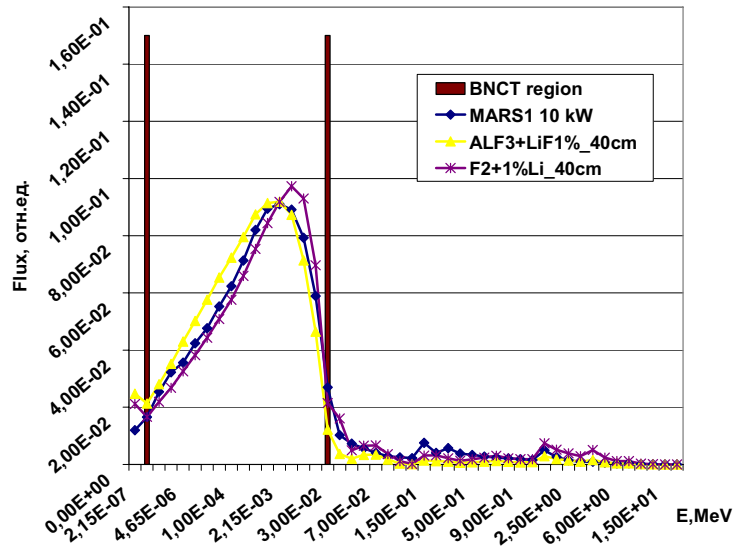


Рис. 6. Сравнение спектров нейтронов утечки для фильтров из фтора и  $AlF_3$

прохождении через фильтр значительно выше, чем у алюминия или свинца. Однако низкое поглощение таких материалов может быть и отрицательной стороной. Для того, чтобы уменьшить количество нейтронов тепловых энергий, приходится к фторидам с низким сечением поглощения добавлять поглощающие материалы.

На рисунке 7 приведена структура спектров нейтронов утечки из фильтров, состоящих из разных материалов. В качестве исходного спектра использовался неоптимизированный спектр реактора МАРС. Видно, что в структуре спектров нейтронов для всех фильтров доля нейтронов в интервале от 0,5 эВ до 30 кэВ составляет 90 и более процентов. Доля нейтронов ниже 0,5 эВ и выше 30 кэВ достаточно мала. Таким образом, наряду с известными  $AlF_3$  и  $MgF_2$  могут применяться для оптимизации пучков и другие фториды. Так, например, фторид свинца интересен с точки зрения подавления дозы от гамма-квантов, а применение фторида железа не требует добавления дополнительного поглотителя.

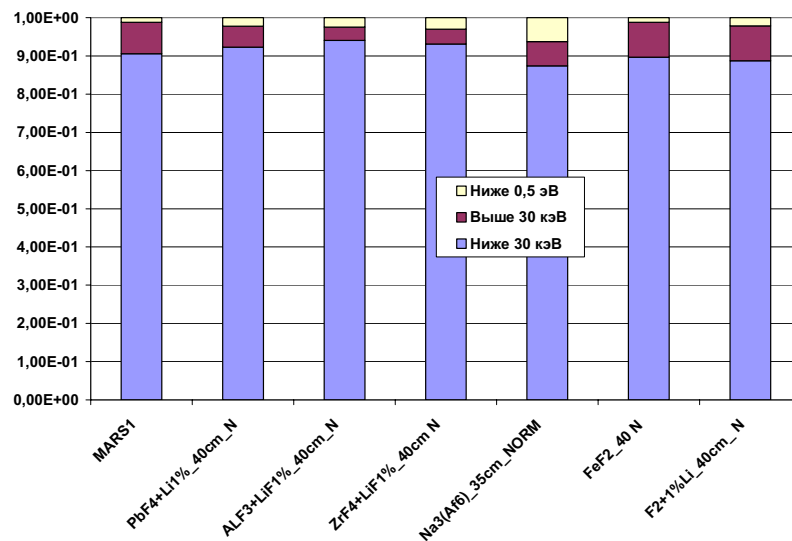


Рис. 7. Сравнение структуры спектров нейтронов утечки для фильтров из разных материалов при толщине 40 см. Исходный спектр – не оптимизированный для BNCT спектр реактора МАРС



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нейтронная терапия онкологических заболеваний предъявляет специфические требования к физическим параметрам пучков нейтронов. В настоящее время для нейтронной терапии, в основном, используют многоцелевые исследовательские реакторы, которые приспособливают для медицинских целей.

Нейтроннозахватная терапия, принципиальной особенностью которой является избирательность радиационного поражения раковых клеток, в настоящее время рассматривается в качестве перспективного метода лечения ряда злокачественных новообразований, в частности, различных форм опухолей головного мозга.

В многочисленных публикациях показано, что «чистые источники» (источники из установок) нейтронов используются довольно редко. Для повышения качества лучевой терапии используются фильтры-формирователи, которые преобразуют поток исходных нейтронных источников в более подходящий.

Исследован ряд материалов, которые могут быть использованы при формировании пучка нейтронов для ВНСТ. Существенно расширен список материалов, которые могут использоваться в процедуре формирования пучка для ВНСТ. В данной работе показано, что формирование сдвига спектра в область ниже 30 кэВ определяется, главным образом, фтором. Численные эксперименты показали, что структуры спектров нейтронов, прошедших через многие фториды, очень похожи, и связано это с близкой концентрацией фтора у этих фторидов. Чем ближе концентрации фтора у фторидов, тем ниже расхождения в спектрах нейтронов, прошедших через них.

## Благодарности

Авторы благодарят Кураченко Юрия Александровича за возможность использовать в исследованиях спектры реактора МАРС.

## Литература

1. IAEA, VIENNA, 2001, IAEA – TECDOC – 1223, ISSN N 1011\_4289, Current status of neutron capture therapy, May 2001.
2. Цыб А.Ф., Ульяненко С.Е., Мардынский Ю.С. и др. Нейтроны в лечении злокачественных новообразований: Научно-методическое пособие. – Обнинск: БИСТ, 2003. – 112 с.
3. Moss R.L., Beynon D. et al. The requirements and development of neutron beams for neutron capture therapy of brain cancer//J. Neuro-Oncology. – 1997. – V. 33. – 27-40.
4. Кононов О.Е., Кононов В.Н., Коробейников В.В., Соловьев А.Н., Боховко М.В., Чу В.Т., Житник А.К., Огнев С.П. Оптимизация источника эпитепловых нейтронов на основе реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  для нейтроннозахватной терапии/Препринт ФЭИ-2984. – Обнинск, 2003.
5. Мардынский Ю.С., Сысоев А.С., Гулидов И.А. Цыб А.Ф. Нейтроны ядерных реакторов в лечении злокачественных новообразований. – Обнинск: МРНЦ РАМН, 2001. – 132 с.
6. Кононов В.Н., Коробейников А.В., Коробейников В.В., Кононов О.Е., Соловьев Н.А. Использование функций влияния при оптимизации пучков нейтронов для целей нейтронной терапии/Препринт ФЭИ-3126. – Обнинск, 2008.
7. Korobeynikov A., Ginkin V. Computing Analysis and Optimization of Neutron Beam for Tumor Therapy//Transport Theory and Statistical Physics. – 2008. – V. 37. – № 37. – P. 601-612, 2008.
8. Кононов В.Н., Коробейников А.В., Коробейников В.В., Кононов О.Е. Использование функций влияния при оптимизации пучков нейтронов для целей нейтронной терапии//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 4.
9. Кононов В.Н., Боховко М.В., Кононов О.Е., Соловьев Н.А., Чу В.Т. Источники быстрых нейтронов на основе ускорителя для нейтронной терапии/Препринт ФЭИ-2995. – Обнинск, 2005.
10. Кононов О.Е., Кононов В.Н., Боховко М.В. Источники нейтронов на основе ускорителя для нейтронной и нейтроннозахватной терапии/Препринт ФЭИ-2952. – Обнинск, 2003.



11. Кононов В.Н., Боховко М.В., Кононов О.Е. Гамма-излучение нейтронного источника на основе реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ /Препринт ФЭИ-2643. – Обнинск, 1997.
12. *Briesmeister J.* MCNP – A general Monte Carlo n-particle transportation code. LA-1625-M, version 4B, LANL, 1997.
13. Кураченко Ю.А., Казанский Ю.А., Левченко А.В., Матусевич Е.С. Вывод нейтронных пучков и защита медицинского реактора «МАРС»//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2006. – №4. – С. 36-48.
14. Кураченко Ю.А., Казанский Ю.А., Левченко В.А. Матусевич Е.С. Перспективы тяжеловодного реактора для нейтронной терапии злокачественных новообразований//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – №1. – С. 116 – 125.

Поступила в редакцию 15.04.2009

equipment of the Smolensk NPP's first power unit were used.

#### **УДК 621.791.16: 621.791.05**

*Ultrasonic Method of Removal of Residual Pressure in Welded Connections of Circulating Pipelines and the Atomic Power Station Equipment* \ A.I. Trofimov, S.I. Minin, V.N. Dementev, M.A. Trofimov, A.I. Osipov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 1 table, 4 illustrations. – References, 5 titles.

The analysis of a condition of works on decrease in residual pressure in welded connections of the equipment of the atomic power station is carried out. Results theoretical and experimental researches of an ultrasonic method of removal of residual pressure in welded connections in the course of welding of circulating pipelines of the atomic power station are resulted.

#### **УДК 504.5: 621.039**

*Use of Allium-test for Toxicity Assessment of Water and Soil Sampled from Radioactively Contaminated Sites* \ S.V. Pyatkova, S.A. Geraskin, A.N. Vasileva, G.V. Kozmin, N.N. Lyannoy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. 8 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 20 titles.

The presented results of the estimation to toxicity sample water and soil from Semipalatinsk Experimental Test Site with use Allium-test. The factors of cyto- and genotoxicity natural sample from area STE, contrasting on level and spectrum radioactive contamination were compared. It is shown need of the modification of the biotesting for account of the external gamma-irradiations in region of the selection of the tests sample.

#### **УДК 628.31**

*The Sorption Properties of the Thermal Resistant Amorphous Alum Silicate Adsorbent* \ A.S. Shilina, V.K. Milunchuk; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 8 titles.

The structure formula of new type alum silicate adsorbent was determined. The sorption properties of the thermal modified amorphous alum silicate adsorbent are present. After heating at 600°C the static sorption capacity adsorbent (mg/g) is increasing at 1.5 time and is equal for the nickel cations 220 and for the lead cations 660. Alum silicate adsorbent effective removes these cations from the boiling water solutions. It is testify about the perspective of the adsorbent for the water cleaning at high temperature.

#### **УДК 621.039.51**

*Information Interactive System for Preparation and Verification Nuclear Data in the High-Energy Range* \ A.A. Angrianov, Yu.A. Korovin, I.S. Kuptsov, A.Yu. Konobeev, A.Yu. Stankovskiy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 11 pages, 1 table, 6 illustrations. – References, 11 titles.

The article concerns the developing of information interactive system code for the preparation, verification and validation nuclear data in the high range. This complex enables users without special skills, produce activation nuclear-physical data, statistically assess them on existing experiments, verify the high energy reactions models using a flexible parameters selection system and visualize the results.

#### **УДК 621.039.512**

*On Use of Perturbation Theory for Analysis of Periodic Pulsed Solutions in Problems of Reactor Dynamics* \ A.V. Gulevich, O.F. Kukharchuk; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 11 pages, 2 illustrations. – References, 10 titles.

Principal relationships for estimation of linear functionals due to the changes in parameters of the initial boundary-value problem on the period have been formulated based on the traditional approach of perturbation theory and the adjoint function apparatus. The emphasis has been upon the case when the problem perturbation is the change of the period itself. Numerical and analytical examples of the use of perturbation theory relationships in the simplest problems of neutronic kinetics and non-stationary heat exchange in fuel element of periodic pulsed reactor have been considered.

#### **УДК 621.039**

*Calculation Study of Neutron-Physics Material Characteristics for Therapy Beams Forming* \ A.V. Korobeynikov, V.P. Ginkin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 1 table, 7 illustrations. – References, 14 titles.

Neutron therapy for cancer treating are formed the specific requests to neutron beam parameters. At present time, multipurpose testing nuclear reactors which adjusted for medical purpose are used for neutron therapy. Favorable for neutron capture therapy energy interval depends on depth of tumor position and locates from 0,5eV to 20–40KeV. The materials which can be used as a moderator or filter under forming the need spectral structure of neutron beams for BNCT are given in present paper.

#### УДК 621.039.51

*High Energy Proton Activation Data Library (HEPAD-2008) \ Yu.A. Korovin, A.A. Natalenko, G.B. Pilnov, A.Yu. Konobeyev, A.Yu. Stankovskiy, A.V. Tikhonenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 4 tables, 3 illustrations. – References, 25 titles.*

A proton activation data library for 682 nuclides from 1H to 210Po in the power range from 150 MeV up to 1 GeV was developed at the INPE «PUSK» research laboratory. To calculate proton activation data the MCNPX 2.6c and CASCADE/INPE codes were chosen. The different intranuclear cascade, preequilibrium and equilibrium nuclear reaction models and they combinations are being used. The choice of the optimum models of calculation was carried out on the basis of statistical correlation for calculated and experimental proton data taken from the EXFOR international library of experimental nuclear data. All the data are presented in the ENDF-6 format files. The library was called HEPAD-2008 (High-Energy Proton Activation Data).

#### УДК 621.039.54

*Generalizing Operational-Constructive Criterion for Water-Water Reactors \ V.I. Korolev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 1 illustration. – References, 1 title.*

The operational-constructive dimensionless criterion which allows connecting a number of the important characteristics for operation with the basic constructive sizes ТВЭЛ is developed. The given criterion can be used at designing of new active zones of the various sizes and characteristics with similar properties.

#### УДК 621.039.51

*Choice of the Fuel Composition for the Special Medical Reactor \ A.V. Levchenko, V.A. Barshevtsev, Y.A. Kazansky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 14 titles.*

Calculation substantiation of the fuel composition choice for the special medical reactor was considered. Two kinds of fuel – based upon americium and uranium (as more common one) were compared both in zirconium hydride matrix and as uranium dioxide. The general characteristics were contrasted and it was concluded that uranium dioxide fuel has an advantage.

#### УДК 621.039.543.4

*Possibility Research of Profiling of Energy-Release by Radial Transposition of Fuel in the CANDU Type Reactors \ Min Min Soe, V.I. Naumov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 5 titles.*

Possibility research of profiling of energy-release by radial transposition of fuel by the scheme of «out-in-out» in the boundary of active zone of CANDU type reactors when utilizing slightly enriched uranium as a fuel was carried out. Quantitative estimations of effectiveness of transposition at the example model of CANDU type reactor with the parameters, similar to the PHWR-750 project in the range of initial enrichment of fuel is from 0.71 to 3% were outlined.

#### УДК 621.039.517

*Analysis of Decay Heat at BN-600 Assemblies \ S.V. Zabrodskaia, A.L. Kochetkov, A.V. Moiseev, M.Yu. Semenov, Yu.S. Khomyakov, E.F. Seleznev, V.P. Zabegaev, A.I. Karpenko, E.L. Rozenbaum, V.F. Rosliakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 12 pages, 2 tables, 8 illustrations. – References, 11 titles.*

The method of decay heat calculation used by CARE\_03 code and module OST of complex GEFEST is described. The verification of method is carried out in comparison with ORIGEN code calculations of decay heat. The calculations validation on decay heat measurements is fulfilled on calorimetric equipment of Beloyrskaya Power Plant pool. The coincidence of calculation data of both codes CARE and ORIGEN are shown (< 5%). The discrepancy of decay heat calculation data with measurement data is indicated for spent subassemblies under the long cooling times with the low decay heat – 100-150 Wt. The calculate and