

При малых размерах пор, силицирование приводит к быстрому блокированию транспортных пор и полнота силицирования не достигается. При больших размерах пор, расплав кремния протекает через заготовку с высокой скоростью, что не благоприятствует образованию карбида кремния, частично вытекает из нее.

Проведя анализ экспериментальных данных по получению опытного образца силицированного графита можно сделать следующие выводы:

- отработаны технологические режимы спекания, оптимальная температура (1550 °С) и время процесса (50 мин с последующим охлаждением до комнатной в инертной среде рабочей камеры ВЧГ-135);
- выявлено, что структура полученного материала состоит из трех основных фаз, соответствующих силицированному графиту, это карбид кремния (SiC) с микротвердостью от 10840 МПа до 15900 МПа, свободный углерод (C) и кремний (Si) с микротвердостью от 5250 МПа до 8720 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тарабанов А.С., Костиков В.И. Силицированный графит. - М.: Металлургия, 1977.- 208 с.
2. Гнесин Г.Г. Карбидокремниевые материалы. - М.: Металлургия, 1977.- 215 с.
3. Люлько В.Г. «Физико-химические основы и технология получения композиционных порошков термосинтезом в вибрирующем слое». - М.: Москва, 2004.- 517 с.
4. Гузман И.Я. Химическая технология керамики. - М.: ООО РИФ «Стройматериалы». 2003.- 406 с.
5. Брантов С.К., Кузнецов Н.Н. Электрофизические свойства композиционного материала на основе силицированной углеграфитовой ткани. - М.: Материаловедение, 2002.- 25-27 с.

Научный руководитель: М.К. Жамбаева, магистр технических наук, преподаватель кафедры Техническая физика и теплоэнергетика, Государственный университет имени Шакарима города Семей, Казахстан.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВочНОГО КОЭФФИЦИЕНТА САМОПОГЛОЩЕНИЯ В ТВЭЛАХ ВОТК-НОУ**

Р.Р. Сабитова

Государственный университет имени Шакарима города Семей

Измеряемой величиной в гамма-спектрометрии обычно является число импульсов в пиках полного поглощения (ППП) энергии гамма-квантов, характерных для измеряемого радионуклида. Гамма-кванты, прежде чем попасть в детектор, проходят слой материала источника и могут поглотиться или поте-

рять часть энергии. За счет этого эффекта, называемого *самопоглощением*, уменьшается число импульсов, зарегистрированных в ППП. Коэффициент самопоглощения зависит от формы, размеров и расположения источника относительно детектора (от геометрии измерения), а также и от материала объемного источника – от его элементного (химического) состава и плотности.

Большое разнообразие материалов объемных источников и геометрий измерения, встречающихся в практической гамма-спектрометрии, делают возможным учет самопоглощения только экспериментальными методами и требуют привлечения для этого расчетных методов. Поэтому задача данной работы состоит в определении расчетным путем поправочного коэффициента самопоглощения  $K$  в объемном источнике (ТВЭЛ ВОТК-НОУ), который при этом будет менять свое расположение в пространстве и химический состав [1].

Один из наиболее эффективных методов расчета коэффициентов самопоглощения объемных источников состоит в том, что объемный источник рассматривается как совокупность точечных источников в его объеме, вносящих элементарные вклады в полную скорость счета в ППП. Коэффициент самопоглощения равен отношению интегральных по объему источника вероятностей вызвать импульс в ППП при наличии и в отсутствие поглощения в источнике:

$$K = \frac{\varepsilon_{point}}{\varepsilon_{sample}} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{point}$  – эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 185,7 кэВ для точечного непоглощающего гамма;

$\varepsilon_{sample}$  – эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 185,7 кэВ для образца ТВЭЛа ВОТК-НОУ.

*Эффективностью регистрации* называется отношение числа заряженных частиц, вызвавших разряд, к общему числу частиц, попавших в рабочий объем счетчика. Эффективность регистрации гамма-квантов составляет примерно от 0,2 до 1,5% в зависимости от энергии квантов [2].

ТВЭЛ ВОТК-НОУ представляет собой спиральный стержень двухлопастного профиля с толщиной лопасти в пределах от 1,47 до 1,53 мм. Винтовая закрутка лопасти вокруг оси имеет шаг в среднем 30 мм. ТВЭЛ состоит из оболочки (сплав Э110 (Zr – 99%) и топливного сердечника (композиция металлического урана и сплава Э110) [3].

Основные исходные данные для расчета поправочного коэффициента:

- энергия гамма-квантов, кэВ 185,7;
- плотность циркония, г/см<sup>3</sup> 6,51;
- плотность урана, г/см<sup>3</sup> 18,88;
- длина образца ТВЭЛа, мм 20;
- расстояние от образца до крышки детектора GC1020, мм 50.

В таблице 1 приведены геометрические размеры образца, толщина оболочки которой составляет 200 мкм.

Табл. 1. Геометрические размеры образца

Элемент	Описанный диаметр, мм	Толщина, мм
Твэл	2,8	1,6
Сердечник твэла	2,4	1,2
Оболочка твэла	-	0,2

В таблице 2 приведены дополнительные исходные данные, необходимые для расчета, такие как: объем урана  $V(U)$  и циркония  $V(Zr)$  в сердечнике твэла, рассчитанные на единицу длины твэла  $L = 10$  мм, плотность сердечника и содержание урана в твэле. Данные в столбцах рассчитаны исходя из заданного содержания урана в сердечнике твэла.

Табл. 2. Сходные данные для расчета

Содержание урана в сердечнике, % масс.	$V(U)$ , см <sup>3</sup> (сердечник $L = 10$ мм)	$V(Zr)$ , см <sup>3</sup> (сердечник $L = 10$ мм)	Плотность сердечника, г/см <sup>3</sup>	Содержание урана в твэле, % масс.
0	0.0	$2,75 \cdot 10^{-2}$	6,5100	0
7,0	$6,969 \cdot 10^{-4}$	$2,69 \cdot 10^{-2}$	6,8229	4,61
13,0	$1,347 \cdot 10^{-3}$	$2,62110 \cdot 10^{-2}$	7,1161	8,69
16,0	$1,695 \cdot 10^{-3}$	$2,581 \cdot 10^{-2}$	7,2724	10,78
19,0	$2,058 \cdot 10^{-3}$	$2,544 \cdot 10^{-2}$	7,4356	12,89

Вариантные расчеты поправочного коэффициента проводились с помощью программы MCNP5 с библиотекой констант фотонов из набора библиотек DLC-220 [4]. Расчеты проводились для геометрии образца с различным количеством урана в сердечнике. На рисунке 1 представлены изображения диалогового окна программы Visual Editor с фрагментами графического изображения расчетной модели «источник – детектор».

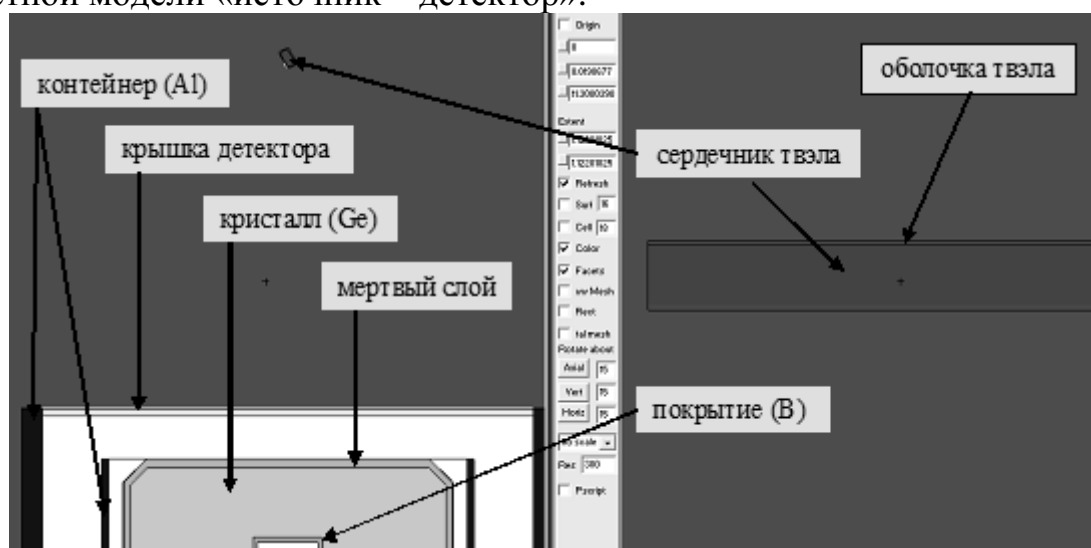


Рис. 1. Расчетная модель с вертикальным положением образца

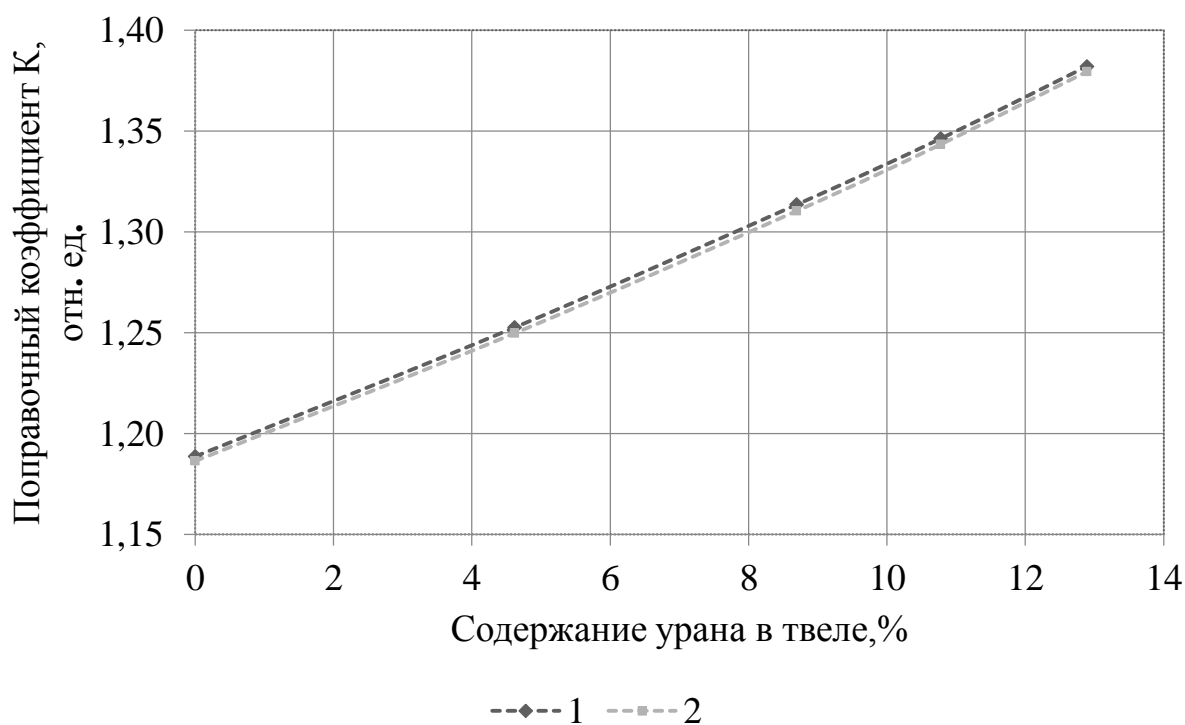
Источник гамма-излучения в пределах одного участка образца задавался изотропным, равномерно распределенным по объему сердечника образца твэла.

Полученные программой MCNP расчеты и определение на их основе коэффициента поправки самопоглощения гамма-квантов для двух вариантов геометрических расположений представлены ниже в таблице 3.

Табл. 3. Результаты расчета поправочного коэффициента

Содержание урана в твэле, % масс.	Эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 185,7 кэВ, $\varepsilon_{\text{sampl}} \cdot 10^{-2}$ , отн. ед.		Поправочный коэффициент самопоглощения K, отн. ед.			
	$\varepsilon_{\text{point}}$	плоскость образца относительно детектора				
		торцевая	боковая	торцевая	боковая	
0	1,532	1,290	1,289	1,186	1,189	
4,61		1,226	1,223	1,250	1,253	
8,69		1,169	1,166	1,310	1,313	
10,78		1,140	1,138	1,343	1,346	
12,89		1,111	1,109	1,379	1,382	

Сравнивая результаты расчета, можно заметить, что поправочный коэффициент самопоглощения различается для двух положений ( торцевое и боковое ) в среднем на 0,32% , что показано на рисунке 2.



1 – геометрия расположения твэла к детектору торцевой плоскостью;  
 2 – геометрия расположения твэла к детектору боковой плоскостью.

Рис. 2. График сравнения поправочного коэффициента для двух геометрических положений твэла

#### Заключение

Было подтверждено, что изменение геометрии, химического состава и плотности влияет на значение поправочного коэффициента. Была выявлена тенденция роста коэффициента при увеличении в твэле массовой доли урана.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Характеристики гамма - спектрометрического метода радионуклидного анализа // Физический факультет Южного федерального университета URL: <http://www.phys.rsu.ru> (дата обращения: 12.06.17).
2. Эффективность регистрации ионизирующих излучений // URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru> (дата обращения: 10.06.17).
3. Поправочный коэффициент при определении содержания урана в образцах твэлов ВОТК-НОУ: протокол от 01.07.2016 № 13-240-02/1078вн / филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК. – Курчатов, 2016. – 2 с.
4. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I, II, III. X-5 Monte Carlo Team. Los Alamos, New Mexico 2003.

Научный руководитель: И.В. Прозорова, начальник группы лаборатории физики реакторных установок, Филиал ИАЭ РГП НЯЦ РК

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Н.В. Седельников  
Сибирский федеральный университет

Аннотация: задачей работы является разработка специализированного программного обеспечения, позволяющего проводить многовариантные тепловые расчетные исследования котельных агрегатов с целью оптимизации конструктивных и режимных характеристик парового котла, например, при переводе котельного агрегата с жидкого шлакоудаления на твердое, что в конечном итоге будет способствовать повышению эффективности работы котлов, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна.

В настоящее время парк оборудования тепловых электрических станций Красноярского края, а именно значительная его часть, представлена устаревшими и физически изношенными котлами с жидким шлакоудалением (ЖШУ), а именно 40-42% выработки электрической и тепловой мощности электростанций приходится на данные котельные агрегаты. Результаты эксплуатации котлов с ЖШУ указывают на значительное отставание в техническом развитии топочных процессов, физическое и моральное старение данных котлов. Поэтому для решения вышеперечисленных проблем предполагается разработать конструктивно-компоновочные и режимные мероприятия, позволяющие повысить эффективность работы котельных агрегатов, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна. При реконструкции и проектировании паровых котельных агрегатов необходимо выполнять многовариантные и многофакторные расчетные исследования. Эти исследования достаточно трудоемки, но необходимы для обеспечения надежной и экономичной работы оборудования, поэтому все чаще в качестве дополнительных мер применяются средства программного обеспечения.