

Таблица 2

## Результаты расчетов по оптимизации источника

Диаметр трубы, мм	40	60	70	60	90	70	90	90	90	90	90
Кол-во, шт.	4	10	12	13	17	18	21	24	28	30	32
Активность, $\times 10^3 \text{Ки}$	4.00	10.00	12.00	13.00	17.00	18.00	21.00	24.00	28.00	30.00	32.00
Факт. активность, $\times 10^3 \text{Ки}$	3.76	9.00	10.80	11.05	14.96	14.76	17.64	21.84	21.56	22.20	22.72
МЭД, $\times 10^6 \text{мР/ч}$ ( $r=1\text{м}$ )	1.89	4.45	5.29	5.56	7.29	7.40	8.71	10.59	10.87	11.41	11.93
Самопоглощение, %	6	10	10	15	12	18	16	17	23	26	29

В защитных камерах горячей лаборатории НИИАР отработана технология дистанционной загрузки облученных пэлов реакторов СМ-2 и БН-600 в оболочку  $\varnothing 12,0 \times 1,0$  мм, в том числе в 1 оболочку — по 4 пэла реактора СМ-2, или в 1 оболочку по 1 пэлу реактора БН-600.

## Заключение

Разработана конструкция и технология изготовления нового вида источника гамма-излучения на основе радионуклидов европия. Сердечником источника могут быть как отработавшие стержни регулирования реакторов, так и направленно облученные в исследовательских или в энергетических быстрых реакторах.

## Список литературы

1. Рисованый В.Д., Клочков Е.П., Пономаренко В.Б., Захаров А.В. Европий в ядерной технике. Димитровград, НИИАР, 1998
2. Рисованый В.Д., Клочков Е.П., Пономаренко В.Б., Захаров А.В. Европий в ядерной технике. Димитровград-2004, НИИАР. 2-ое издание переработанное.

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ СОЗДАНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ОБОГАЩЕННОГО КАРБИДА БОРА

**Рисованый В.Д., Захаров А.В.,  
Клочков Е.П., Казаков Л.Л.,  
Соколов В.Ф.**

*ОАО «ГНЦ НИИАР»*

Среди стержней регулирования ядерных реакторов особое место занимают стержни, содержащие обогащенный изотоп  $^{10}\text{B}$  в составе

карбида бора. Обогащенный по изотопу  $^{10}\text{B}$  карбид бора — единственный поглощающий материал с достаточной эффективностью поглощения нейтронов в условиях реакторов на быстрых нейтронах. Отработавшие органы регулирования занимают большое место в хранилищах реакторных установок, что вызывает озабоченность эксплуатационного персонала. Обогащенный карбид бора является дорогостоящим продуктом, а потому его необходимо возвращать в производство.

Несомненные выгоды можно получить в результате многократного использования в реакторах карбида бора из отработавших стержней АЗ. В ГНЦ НИИАР для этой цели разработана технология хлорной переработки облученного карбида бора обеспечивающая замкнутый цикл использования обогащенного карбида бора в реакторах на быстрых нейтронах.

Отработавшие стержни АЗ транспортируются в ГНЦ НИИАР. В горячих камерах из них извлекается сердечник — таблетки карбида бора. Примеси в составе карбида бора создают заметную наведенную радиоактивность. Поэтому работы с извлеченными таблетками производятся в горячих камерах. Извлеченный карбид бора по хлорной технологии перерабатывается в борную кислоту ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). При этом происходит полная очистка от радиоактивных примесей, и дальнейшие работы производятся вне горячих камер. Из борной кислоты углетермическим методом синтезируется порошок карбида бора, а из него методом горячего прессования изготавливаются таблетки необходимой геометрии. Они служат для изготовления сердечников новых стержней (рис. 1).

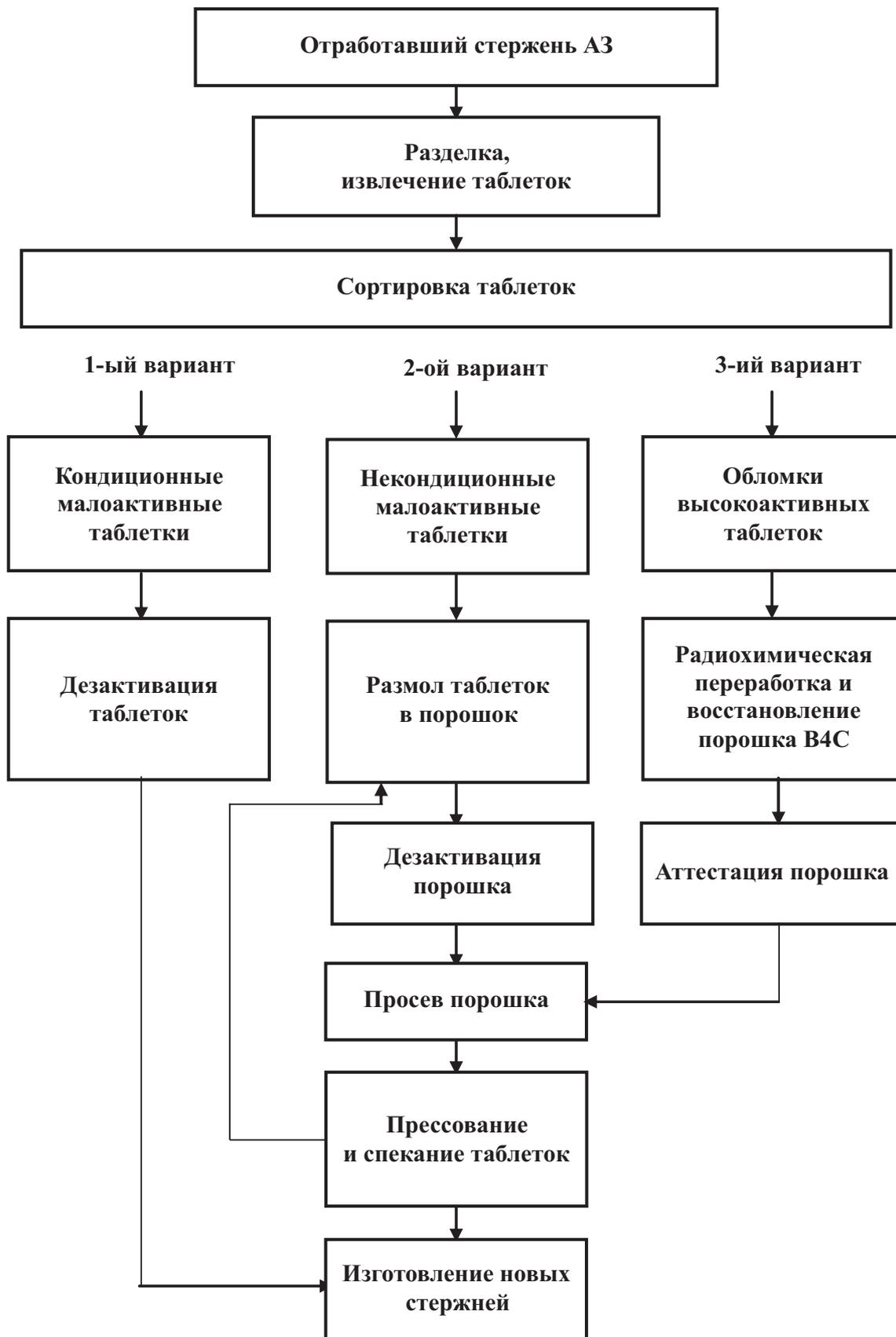


Рис. 1 Схема переработки карбида бора из отработавших стержней АЗ и восстановление карбида бора

Таблица 1

Характеристики получаемых продуктов переработки

Борная кислота $H_3BO_3$		Порошок $B_4C$	
Содержание	$H_3BO_3 \geq 99,5\%$ $B_{\text{общ}} \geq 17,3\%$	Содержание	$B_{\text{общ}} \geq 74\%$ $C_{\text{общ}} \geq 20\%$ $C_{\text{своб}} \leq 1\%$ $B_4C \geq 98\%$
Радиоактивность	$\Sigma Fe, Al, Si, Mg \leq 0,2\%$ на уровне естественного фона	Размер частиц	$\leq 10$ мкм

Цикл может повторяться многократно до снижения содержания изотопа  $^{10}B$  ниже установленного уровня. После этого может производиться добавление в борную кислоту свежего обогащенного бора, что восстановит поглощающую эффективность материала.

Качество получаемых при переработке продуктов: борной кислоты, порошка карбида бора и таблеток из него удовлетворяют всем основным требованиям, предъявляемым к поглощающим материалам стержней СУЗ (Табл. 1).

Начиная с 1995 г. на основе рефабрицированного карбида бора изготавливаются все стержни регулирования реактора БОР-60. Были проведены послереакторные материаловедческие исследования, на основе которых сделаны

выводы о возможности эксплуатации рефабрицированных стержней реактора БОР-60. К настоящему времени общее число изготовленных стержней из рефабрицированного карбида бора превысило 10 штук. Начиная с 1997 г. начата рефабрикация стержней регулирования реактора БН-600 и из рефабрицированного карбида бора были изготовлены 3 стержня регулирования.

**Заключение**

Впервые в мировой практике реализован замкнутый цикл в использовании поглощающих материалов, в частности, дорогостоящего обогащенного карбида бора. Этот замкнутый цикл позволяет утилизацию стержней регулирования, снижение объемов радиоактивных материалов и отходов, подлежащих захоронению.

**Физико-математические науки**

**СОВМЕЩЕННЫЙ ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗ КРИПТОНА И КСЕНОНА**

**Колесников В.А., Юров В.М.**

*ОАО «Казчерметавтоматика,  
Караганда  
[exciton@list.ru](mailto:exciton@list.ru)*

Предложен новый подход к проведению газового анализа совмещенными люминесцентным и эмиссионным спектральными методами, в котором возбуждение люминесценции красителя, помещенного внутри газоразрядной трубки, осуществляется световой вспышкой импульсного разряда анализируемого газа (ксенона или криптона).

Ввиду отсутствия метрологически аттестованных стандартных образцов на основе криптона и ксенона оценить погрешность измерений и макетов газоанализаторов затруднительно. Была оценена случайная составляющая погрешности макета эмиссионного газоанализатора по сходимости его показаний при периодическом напуске одной и той же газовой смеси.

Относительные среднеквадратические отклонения показаний  $N_2$ , Xe, Kr не превысили 1,3%. Поскольку суммарная погрешность газоанализатора не должна превышать 10%, то ясно, что основной вклад в суммарную погрешность будут давать средства градуировки.

Проводилась обработка математической модели. Погрешность аппроксимации экспериментальных данных полиномом вида

$$I_1 = A_0x^2 + A_{01}y^2 + A_{02}z^2 + A_{03}xy + A_{04}xz + A_{05}x + A_{06}y + A_{07}z + A_{08}$$

не превышала 5%. Это достаточно высокая точность для проведения экспериментов.

Из неинформативных параметров наиболее сильное влияние на величину аналитического сигнала оказывают давление и расход анализируемого газа. Как показали специально проведенные исследования, эти параметры должны быть стабилизированы с погрешностью не более 1%.

Нами разработана конструкторская документация на регулятор абсолютного давления.