

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРУЗКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ВИР-2М НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТЕРЖНЕЙ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОСТЬЮ

*П. В. Таракаенко, С. П. Котков, А. А. Кубасов, А. Д. Авдеев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

В последние годы при испытании радиационной стойкости объектов на установке ВИР-2М возникает необходимость применения  $n$ - $\gamma$  конверторов, способных изменять соотношение таких параметров облучения как флюенс нейтронов и доза гамма-квантов. Размещённые в экспериментальных каналах реактора конверторы влияют на распределение плотности потока нейтронов в реакторе, тем самым оказывая влияние на эффективность стержней управления реактивностью (СУР) реактора. Нижний защитный шибер (НШ), размещённый под полусферическим каналом (ПСК) реактора, также влияет на распределение плотности потока и эффективность стержней, так как НШ является отражателем нейтронов. Данные явления особенно важно учитывать в импульсном режиме работы установки, так как перед генерацией импульса мощности с заданным энерговыделением стартовое положение регулирующих стержней (РС) будет зависеть от величины загрузки экспериментальных каналов.

Данная работа проводилась с целью определения эффективности РС по высоте их извлечения из активной зоны (АЗ) реактора в зависимости от загрузки экспериментальных каналов.

## Установка ВИР-2М

ВИР-2М – растворный исследовательский импульсный ядерный реактор. В качестве топлива используется раствор соли – уранил-сульфата  $UO_2SO_4$  в обычной воде. Обогащение по  $U^{235}$  составляет 90 %. Корпус реактора, представленный на рис. 1, имеет высоту 2 метра и наружный диаметр  $\sim 0,7$  м. Толщина стенок составляет 65 мм [1].

Управление реактором осуществляется 6 одинаковыми стержнями управления реактивностью (СУР), которые подразделяются на регулирующие (РС) и импульсные (ИС) стержни. Схема взаимного расположения СУР показана на рис. 2.

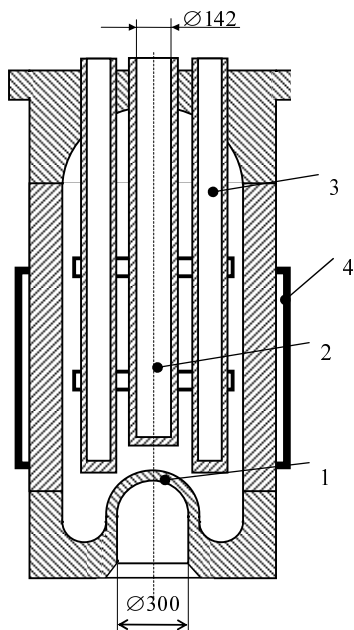


Рис. 1. Вертикальный разрез реактора ВИР-2М: 1 – полусферический канал, 2 – центральный канал, 3 – каналы стержней управления реактивностью, 4 – рубашка охлаждения

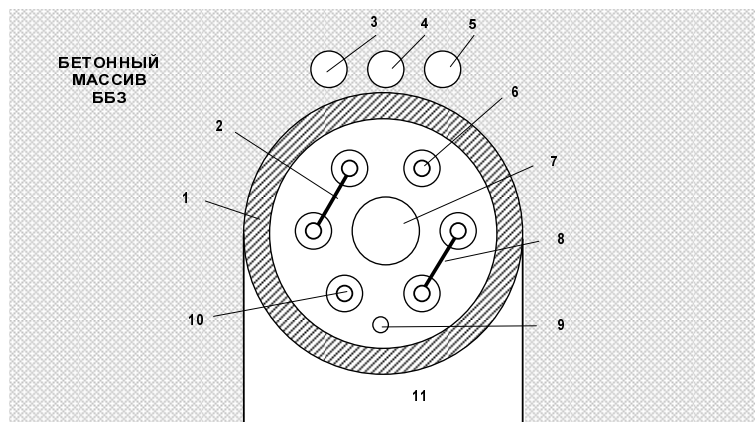


Рис. 2. Схема расположения СУР и экспериментальных каналов: 1 – корпус активной зоны, 2 – ИС-1, 3 – канал нейтронного источника, 4 – пролётный канал, 5 – боковой канал, 6 – РС-2, 7 – центральный канал (ЦК), 8 – ИС-2, 9 – топливный канал, 10 – РС-1, 11 – экспериментальный канал «шахта» (ЭС)

Калибровка суммарной эффективности стержней РС-1 и РС-2 с загрузкой экспериментальных каналов (при постоянной «комнатной» температуре АЗ ~22 °С)

Загрузка	Высота подъёма, мм	0	50	75	100	150	200	250	300	400	500	600
Без загрузки	Реактивность АЗ, $\beta_{эфф}$	-5,3	-4,25	-3,8	-3,35	-2,95	-2,55	-2,3	-2,1	-1,9	-1,8	-1,8
	Эффективность РС-1 и РС-2, $\beta_{эфф}$	0	1,05	1,50	1,95	2,35	2,75	3,0	3,20	3,40	3,50	3,50
Нижний шибер	Реактивность АЗ, $\beta_{эфф}$	-4,35	-2,97	-2,65	-2,44	-2,10	-1,83	-1,57	-1,44	-1,31	-1,26	-1,25
	Эффективность РС-1 и РС-2, $\beta_{эфф}$	0	1,38	1,70	1,90	2,24	2,51	2,77	2,91	3,04	3,08	3,09
Конвертор ПСК	Реактивность АЗ, $\beta_{эфф}$	-7,56	-4,71	-4,34	-4,18	-3,72	-3,49	-3,18	-3,13	-2,95	-2,92	-2,97
	Эффективность РС-1 и РС-2, $\beta_{эфф}$	0	2,85	3,22	3,38	3,84	4,06	4,37	4,42	4,61	4,63	4,60
Конвертор ЦК	Реактивность АЗ, $\beta_{эфф}$	-5,40	-3,79	-3,50	-3,31	-3,11	-2,82	-2,65	-2,53	-2,42	-2,39	-2,42
	Эффективность РС-1 и РС-2, $\beta_{эфф}$	0	1,61	1,90	2,09	2,29	2,57	2,74	2,86	2,98	3,00	2,97

### Порядок проведения измерений

Экспериментальное определение эффективности группы регулирующих стержней основано на решении обращенного уравнения кинетики одноточечной модели реактора во время релаксации мощности реактора к равновесному состоянию после формирования переходных процессов [2–3]. Формирование переходных процессов производилось за счет «сброса» источника нейтронов. При измерениях использовался Pu-Be источник мощностью  $\sim 1 \cdot 10^7$  нейтр./с, размещенный в пролётном канале реактора. В качестве детектора нейтронов использовался комплект коронных счетчиков типа СМ-11, собранный в полиэтиленовом блоке и размещенный в ЭШ реактора.

Измерения эффективности РС проводились в подкритическом состоянии установки при различных загрузках в полусферическом канале (ПСК)

и ЦК, а также без загрузки. Стержни ИС-1 и ИС-2 при проведении измерений были полностью введены в активную зону (АЗ). В качестве загрузки использовались нижний шибер, конвертор для ПСК, конвертор для ЦК.

### Результаты измерений

Результаты определения суммарной эффективности стержней РС-1 и РС-2 с загрузками по данным измерений реактивности АЗ представлены в таблице. Так как извлечение СУР из АЗ ведёт к увеличению её реактивности, то эффективность полностью введенных в АЗ СУР принималась за «ноль».

По результатам определения суммарной эффективности стержней РС при различных загрузках построены графики, представленные на рис. 3–6. Все точки, соответствующие экспериментальным данным, аппроксимированы двумя полиномиальными

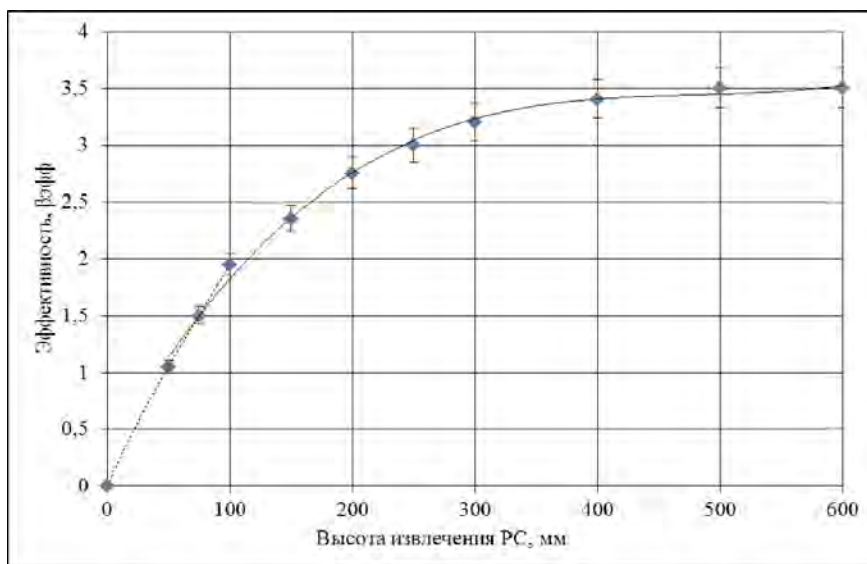


Рис. 3. Калибровка суммарной эффективности группы стержней (РС-1 + РС-2) без загрузки

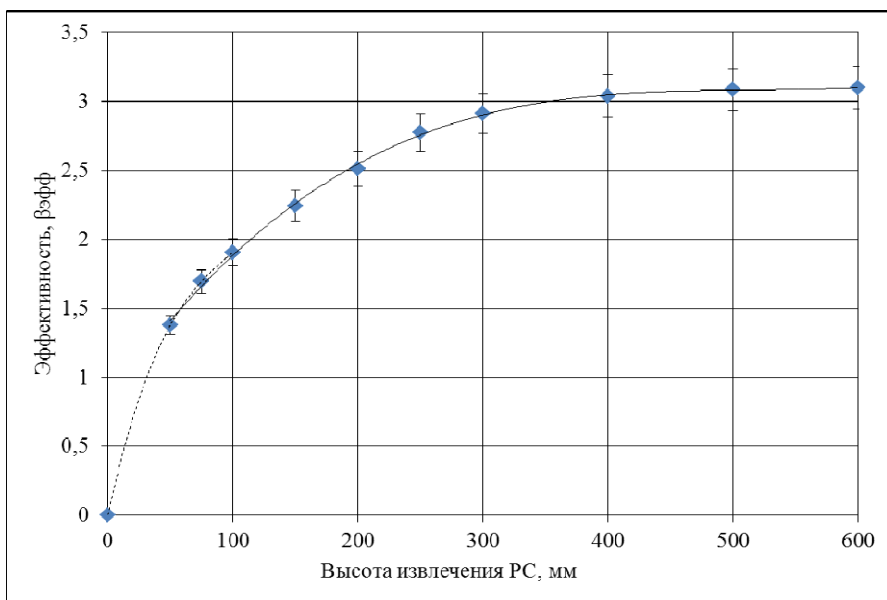


Рис. 4. Калибровка суммарной эффективности группы стержней (PC-1 + PC-2) с нижним шибром

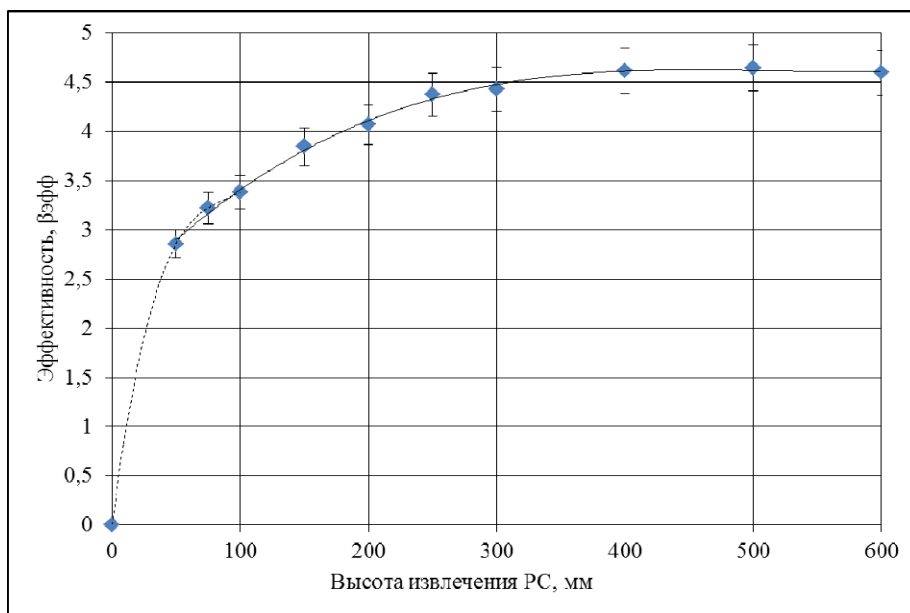


Рис. 5. Калибровка суммарной эффективности группы стержней (PC-1 + PC-2) с конвертором в ПСК

кривыми: штриховой линией от 0 до 100 мм и сплошной линией от 50 до 600 мм (относительная погрешность 5 %). На всех полученных графиках видно, что после высоты извлечения 400 мм эффективность регулирующих стержней изменяется незначительно, так как верхняя граница раствора находится на уровне 400 мм положения РС и дальнейшее их извлечение почти не оказывает влияния на реактивность.

На рис. 7 представлены эффективности регулирующих стержней от высоты их извлечения с различными нагрузками.

Из рис. 7 видно, что подкритичность АЗ с НШ уменьшается, так как НШ исполняет роль отражателя нейтронов. Эффективность РС становится больше при подъеме РС до 120 мм, при дальнейшем извлечении меньше, чем без загрузки. Применение конвертора ЦК при подъеме РС до 120 мм позволяет уменьшить подкритичность АЗ, далее эффективность РС становится меньше, а общая подкритичность АЗ больше. Использование конвертора ПСК приводит к созданию большой подкритичности АЗ и высокой эффективности РС на участке от 0 до 50 мм, дальнейшее перемещение РС сообщает схожую положительную реактивность как с шибром.

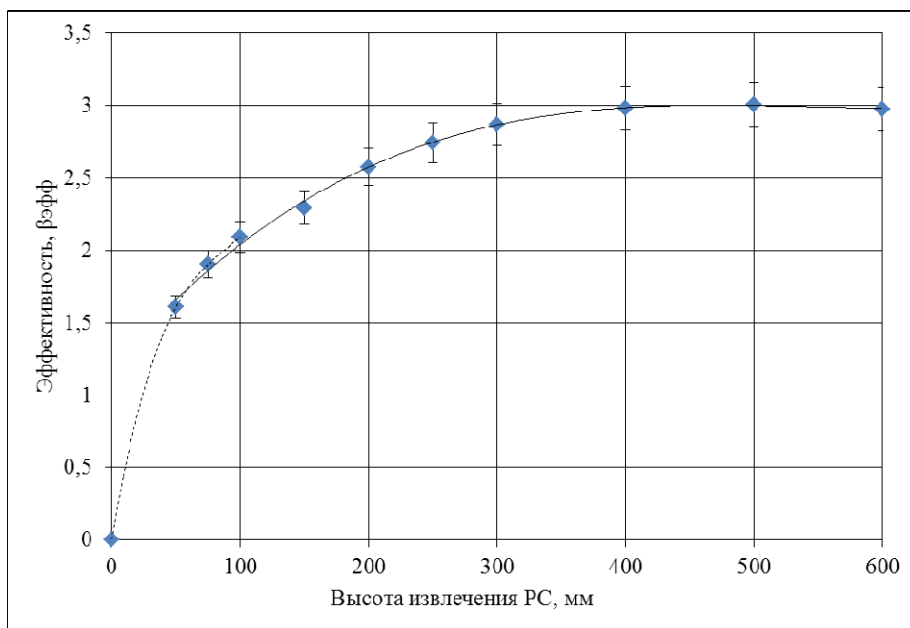


Рис. 6. Калибровка суммарной эффективности группы стержней (РС-1 + РС-2) с конвертором в ЦК

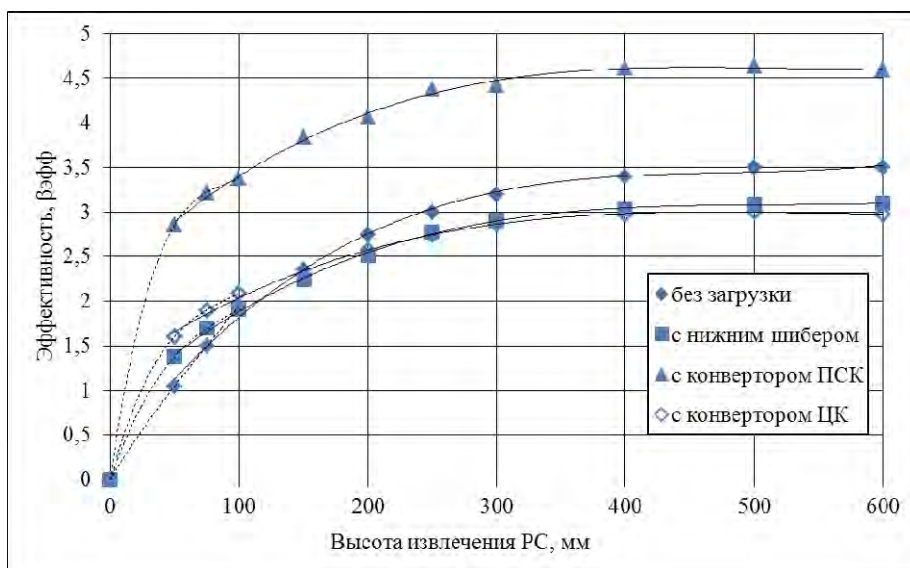


Рис. 7. Калибровка суммарной эффективности группы стержней (РС-1 + РС-2) с различными нагрузками

### Заключение

В данной работе были проведены измерения эффективности РС по высоте извлечения из АЗ реактора ВИР-2М с загрузкой в экспериментальные каналы ЦК и ПСК, с НШ под ПСК, а так же без загрузки.

Из рис. 7 наглядно видно, что указанные загрузки экспериментальных каналов по-разному влияют на подкритичность АЗ и эффективность РС по мере их извлечения.

Полная эффективность РС с НШ уменьшается на 12 %, с конвертором в ЦК снижается на 15 %, с конвертором в ПСК увеличивается на 31 %.

Найдены эффективности загрузок (см. таблицу) в «нулевом» положении РС: НШ = 0,95  $\beta_{эфф}$ ; конвертор ПСК = - 2,26  $\beta_{эфф}$ ; конвертор ЦК = - 0,10  $\beta_{эфф}$ .

Полученные зависимости позволяют уменьшить погрешность в генерации импульса с требуемым энерговыделением при различных нагрузках экспериментальных каналов в импульсном режиме работы установки ВИР-2М. По предварительным оценкам для генерации малого (до 20 МДж) энерговыделения в импульсе погрешность уменьшится с 50 % до 15 %, а при большом (более 20 МДж) энерговыделении с 10 % до 7 %.

## Литература

1. Воинов А. М., Колесов В. Ф., Матвеевко А. С. и др. Водный импульсный реактор ВИР-2М и его предшественники // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. 1990. Вып. 3. С. 3–15.

2. Попов В. А., Дюдяев А. М. Применение обращенного уравнения кинетики реактора для контроля реактивности подкритических размножающих

систем // Атомная энергия, 1997. Т. 82. Вып. 3. С. 238–241.

3. Василенко А. Г., Дюдяев А. М., Куликов М. С. и др. Измерение подкритических состояний размножающих систем на основе анализа переходных процессов // Материалы X Международного семинара по проблемам физики реакторов. – М.: МИФИ. 1997. С. 207.