



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

БАБАЕВ, А.И. и др.

Б1-3-8839.

С 348 в

Б-12

2808/75

Б 1-3-8839

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 1975

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория нейтронной физики

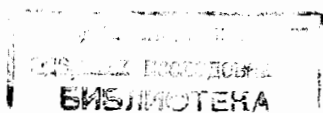
А.И.Бабаев, Э.И.Витальев, В.Д.Денисов, С.А.Квасников,
В.П.Пластинин, Г.Н.Погодаев, В.Т.Руденко, Л.Е.Руденко

Б1-3-8839

ФИЗИЧЕСКИЙ ПУСК РЕАКТОРА
ИБР-30 В МАЕ 1973 г.

28 мая 73

Дубна, 1974 г.



АННОТАЦИЯ.

В мае 1973 года на реакторе ИБР-30 были заменены отработавшие тепловыделяющие элементы одной из кассет неподвижной зоны реактора. В процессе критической сборки активной зоны и физического пуска реактора в импульсном режиме измерены крутильные колебания дисков основной и вспомогательной подвижных зон, а также определена величина параметра параболы, которой аппроксимируется кривая реактивности вспомогательной подвижной зоны при её движении относительно неподвижной.

Описана методика контроля за приближением к мгновенной критичности путём экстраполяции зависимости квадрата обратного счёта пусковой аппаратуры от реактивности.

Во время пуска ИБР-30 в режиме бустера-размножителя проверена линейность каналов, контролирующих изменение амплитуды импульса мощности в зависимости от уровня подкритичности реактора.

ВВЕДЕНИЕ

В отличие от проводившихся ранее критическая сборка ИБР-30, выполненная в мае 1973 г., состояла в догрузке в активную зону реактора рабочих стержней кассеты №2. Загрузка проводилась путём замены стальных имитаторовборок на рабочие с контролем за приближением к запаздывающей критичности по результатам экстраполяции кривых обратного счёта и умножения, которые строились на основании измерений нейтронных потоков пусковыми каналами. Так как геометрия активной зоны и изотопный состав вновь загружаемых рабочих стержней остался прежним, значения эффективностей органов регулирования и подвижных зон реактора вновь не определялись, а использовались результаты, полученные во время пуска ИБР-30 в 1969 г. Загрузка кассеты и проведение экстраполяции на запаздывающую критичность выполнялись с надвинутым на зону свинцовым экраном с прослойкой из оргстекла. В работе описана методика и приведены результаты пуска ИБР-30 и проверки ряда параметров, которые могли измениться по сравнению с имевшими место до остановки реактора. Измерены также взаимные колебания дисков основной и вспомогательной подвижных зон. Эти измерения были необходимы для настройки

дополнительно установленной системы контроля взаимного положения дисков.

І. ЗАГРУЗКА КАССЕТЫ № 2

І.І. Во время загрузки кассеты интенсивность нейтронного излучения в зале реактора контролировалась тремя независимыми каналами пусковой аппаратуры. Каждый канал состоял из батареи (5 шт) счетчиков нейтронов, помещенных в замедлитель нейтронов и установленных вблизи активной зоны реактора, усилителя импульсов с коэффициентом усиления 10^3 , дискриминатора с диапазоном изменения напряжения 0,8 - 10 в, пересчетного устройства, измерителя скорости счета, самопишущего прибора и аварийного триггера. Батарея счетчиков позволила поднять чувствительность измерительного канала до 5 имп/сек на единичный нейтронный поток и надежно контролировать ход загрузки при низких (до 200) размножениях активной зоны с установленным в зону $Ra-Be$ источником нейтронов интенсивностью 1.5×10^7 н/сек. Постоянная времени измерительного канала не более 0,5 сек. Система защиты обеспечивала вывод аварийных стержней из активной зоны реактора за время менее 0,8 сек с момента возрастания интенсивности нейтронного излучения выше установленного порога. Период разгона реактора контролировался прибором АЗС-2М2 с датчиком-ионизационной камерой типа КНК-56, установленной в замедлителе около активной зоны реактора. Так как загрузка кассеты выполнялась в глубокой подкритике и выход на запаздывающую критичность не планировался,

был установлен максимальный для данного прибора порог срабатывания защиты по периоду разгона, равный 20 сек. В аварийную защиту дополнительно вводился канал контроля интенсивности γ - излучения в зале реактора. Он состоял из прибора УСИТ-2, подключенного к гейгеровскому γ -счетчику. Порог срабатывания аварийной защиты устанавливался на 50% превышение уровня γ -фона в зале реактора при надвинутом на зону свинцовом экране. Был также смонтирован звуковой оповещатель интенсивности нейтронного потока - "щелкун", а около зоны установлена кнопка ручного сброса аварийной защиты.

1.2. Загрузка кассеты проводилась от центра зоны к периферии. Величина подкритичности (ϵ) подсчитывалась по формуле

$$\epsilon = \frac{C}{N}$$

где N - счет по пусковому каналу,

C - константа, определяемая из соотношения

$$C = \frac{\Delta \epsilon}{\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_2}}$$

Здесь N_1 и N_2 - скорости счета по пусковому каналу при двух положениях грубого регулятора, $\Delta \epsilon$ - разница реактивности в этих положениях, определяемая по кривой эффективности грубого регулятора. На рис. I приведены зависимости $\frac{1}{N}$ и $\frac{C}{N}$ от числа загруженных стержней. Значения критических масс, которые определялись по экстраполяции обеих кривых, совпали. Новая загрузка кассеты № 2 по Pu - 239 оказалась на 80 грамм больше. Эта суммарная разница возникла вследствие отклонения веса сердечников стержней. После завершения загрузки зоны

были оценены положения органов регулирования, которые соответствуют критичности по запаздывающим нейтронам при установленном около зоны замедлителя или свинцовом экране с прослойкой из оргстекла. Эти данные мало отличаются от полученных во время критсборки в 1969 г. Оперативный запас реактивности равен 1,7%. Он достаточен для перевода реактора от запаздывающей до импульсной критичности и компенсации отрицательного мощностного эффекта реактивности, а также для компенсации реактивности при изменении вида замедлителя и мишени. В то же время обеспечивается необходимый уровень подкритичности для безопасного выполнения ремонтных работ в зале реактора при надвинутом на зону свинцовом экране с прослойкой из оргстекла. При этом максимальная подкритичность составляет 9,65%, а для категорий работ, требующих совмещения основной и вспомогательной подвижных зон с неподвижной, — 2,85%.

2. ПУСК В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

2.1. Во время сборки реактора определяются положения регулирующих стержней, соответствующие критичности по запаздывающим нейтронам. Если состояние зоны не меняется, в импульсном режиме можно рассчитать момент достижения мгновенной и импульсной критичности по известной доле запаздывающих нейтронов ($0,29 \pm 0,03$)% и величине импульсной надкритичности, которая для ИБР-30 в зависимости от частоты импульсов и скорости основной подвижной зоны составляет (0,04 — 0,11)%. Однако, при пусках реактора целесообразно непосредственное определение положений органов регулирования, соответствующих мгновенной или импульсной критичности. Пред-

почтительнее определять мгновенную критичность, так как точность ее определения можно снизить до $\sim 0,02\%$, в то время как превышение на эту величину уровня импульсной критичности приведет к разгону реактора с периодом ~ 5 сек, который не может контролироваться и вызовет срабатывание защиты. В подкритическом реакторе амплитуда (W_{max}), пелуширина (Θ) и энергия импульса (E) определяются выражениями /1/:

$$W_{max} = \frac{S}{\nu |\epsilon|} \quad (1)$$

$$\Theta = \frac{2 |\epsilon|^{1/2}}{\alpha_1^{1/2} \nu}$$

$$E \approx W_{max} \Theta = \frac{2 S}{\nu \alpha_1^{1/2} \nu} |\epsilon|^{-1/2} \quad (2)$$

где S - интенсивность источника нейтронов во время развития импульса, которая в подкритическом реакторе определяется установленным в зону внешним источником нейтронов;

α_1 - параметр параболы реактивности основной подвижной зоны,

ν - число нейтронов на один акт деления,

ν - скорость основной подвижной зоны,

$|\epsilon|$ - импульсная подкритичность реактора, соответствующая амплитудному значению импульса.

Параметры реактора ИБР-30 приведены в таблице I. Так как в подкритическом реакторе измерение амплитуды импульса (1) затруднено, положение мгновенной критичности можно определить экстра-

полющей зависимости квадрата обратного счета (2) пусковой аппаратуры от реактивности. При этом пусковая аппаратура регистрирует нейтронный поток во время формирования импульса мощности. Ширина ворот выбирается с учетом длительности импульса в подкритическом реакторе и его естественного сдвига при повышении реактивности до импульсной критичности. Пример определения мгновенной критичности по этой методике приведен на рис. 2. В последующих пусках приближение реактивности к мгновенной критичности можно оценивать по относительному умножению. За эту величину принято отношение счета пускового канала при некотором положении грубого регулятора к начальному счету, который определяется при поднятых в зону аварийных стержнях и выведенных из зоны грубом и ручном регуляторах.

В таблице 2 приведены результаты пусков ИБР-30 при различных состояниях зоны, частотах следования импульсов и скоростях основной подвижной зоны. Величина относительного умножения зависит от настройки пусковой аппаратуры, которая в нашем случае была выполнена следующим образом: ПК-1 - режим непрерывного счета, дискриминация 4.5 в, ПК-2 - счет в течение 1400 мксек при каждом совмещении основной подвижной зоны с неподвижной, дискриминация 1.8 в, ПК-3 - то же, что и ПК-2, но дискриминация 2.3 в. Вблизи импульсной критичности реактивность увеличивается ручным регулятором степенями по $(1 + 2) \times 10^{-5}$, при этом период разгона не превышает 50 сек и реактор легко контролируется.

2.2. На рис. 3 показаны вспышки излучения, зарегистрированные γ - чувствительным детектором (кристалл NaJ) *

* Измерения выполнены А. Б. Псловым.

в момент развития импульсов мощности реактора при поочередной работе основных подвижных зон № 1 и № 2. Отношение амплитуд импульсов оказалось равным 1.55, а соответствующая разность реактивностей зон $6 \cdot 10^{-5}$. Последняя величина была рассчитана по известному соотношению

$$W_{max} \sim \epsilon_0^{-0,25} \exp\left(\frac{4}{3} \epsilon_0^{1,5} \alpha_1^{-0,5} \tau^{-1} \nu^{-1}\right)$$

Надкритичность (ϵ_0) реактора в момент совмещения основной подвижной зоны № 1 с неподвижной принята равной 0.044 %. Разность реактивностей обеих основных подвижных зон оказалась в два раза выше, чем была ранее, что, по-видимому, объясняется некоторым изменением геометрии основной подвижной зоны № 2.

2.3. Амплитудное распределение импульсов мощности при работе ИБР-30 с основной подвижной зоной № 1 приведено на рис. 4. Сигналы для анализа снимались с канала аварийной защиты реактора. Разброс амплитуд не увеличился по сравнению с имевшим место ранее.

2.4. Форма кривой реактивности вспомогательной подвижной зоны вблизи максимума была измерена во время работы реактора на частоте 100 гц и средней мощности ~ 500 вт. Реактивность определялась относительно линейной части стержня ручного регулирования. Низкий уровень мощности исключал влияние температурного эффекта реактивности на точность измерения. Диск вращался низкоскоростным (0,01 об/мин) независимым приводом, а его положение регистрировалось сельсинным указателем. Перед началом измерений были выбраны люфты в зацеплениях. В интервале $\pm 12^\circ$ кривая реак-

тивности (рис. 5) хорошо описывается уравнением параболы

$$\varepsilon = -\alpha_2 \varphi^2$$

где ε - реактивность, $\alpha_2 = + 7.35 \times 10^{-6}$ 1/град²,
 φ - угол поворота диска в градусах.

2.5. Вращение дисков основной и вспомогательной подвижных зон реактора ИБР-30 производится одним двигателем через разветвленную кинематическую цепь. В системе неизбежны неравномерности вращения, которые вызывают взаимные крутильные колебания дисков, Измеренное распределение амплитуд взаимных колебаний дисков показано на рис. 6. Положения дисков регистрировались специальными индукционными датчиками. Колебания симметричны относительно наиболее вероятного положения, а максимальное расхождение не превышает 240 мксек, или $\sim 0.4^\circ$. На основании этих измерений и кривой эффективности вспомогательной зоны уровень порога срабатывания защиты по рассинхронизации дисков был выбран равным 700 мксек. Величина угла, которая соответствует выбранному порогу в зависимости от включенной передачи технологической машины приведена в таблице 2. Максимальный угол 2.52° соответствует изменению реактивности на 5×10^{-5} и изменению энергии импульса мощности на $\sim 80\%$.

2.6. В режиме импульсного бустера увеличение размножения активной зоны реактора сопровождается ростом энергии вспышки за счет увеличения ее длительности и повышения амплитуды. Однако, при размножениях выше 100 рост амплитуды замедляется и возрастание энергии определяется в основном расширением вспышки /2/. В этом интервале размножений контроль энергии импульса по росту

амплитуды становится неэффективным. Во время последнего ремонта ИБР-30 основные каналы аварийной защиты реактора были модернизированы, и, в частности, установлены новые датчики-ионизационные камеры КНК-56 вместо камер, регистрирующих быстрые нейтроны по ядрам отдачи. При малой длительности нейтронной вспышки амплитуда импульса с ионизационной камеры, помещенной в собственный замедлитель, должна быть пропорциональна энергии вспышки мощности. Для проверки линейности канала аварийной защиты при работе ИБР-30 в режиме импульсного бустера определена зависимость амплитуды вспышки от размножения. В измеренном диапазоне размножений от 50 до 300 линейный рост амплитуды подтвердился (рис. 7).

В. В. В. В.
А. В.
С. Т. Т.
В. В. В. В.

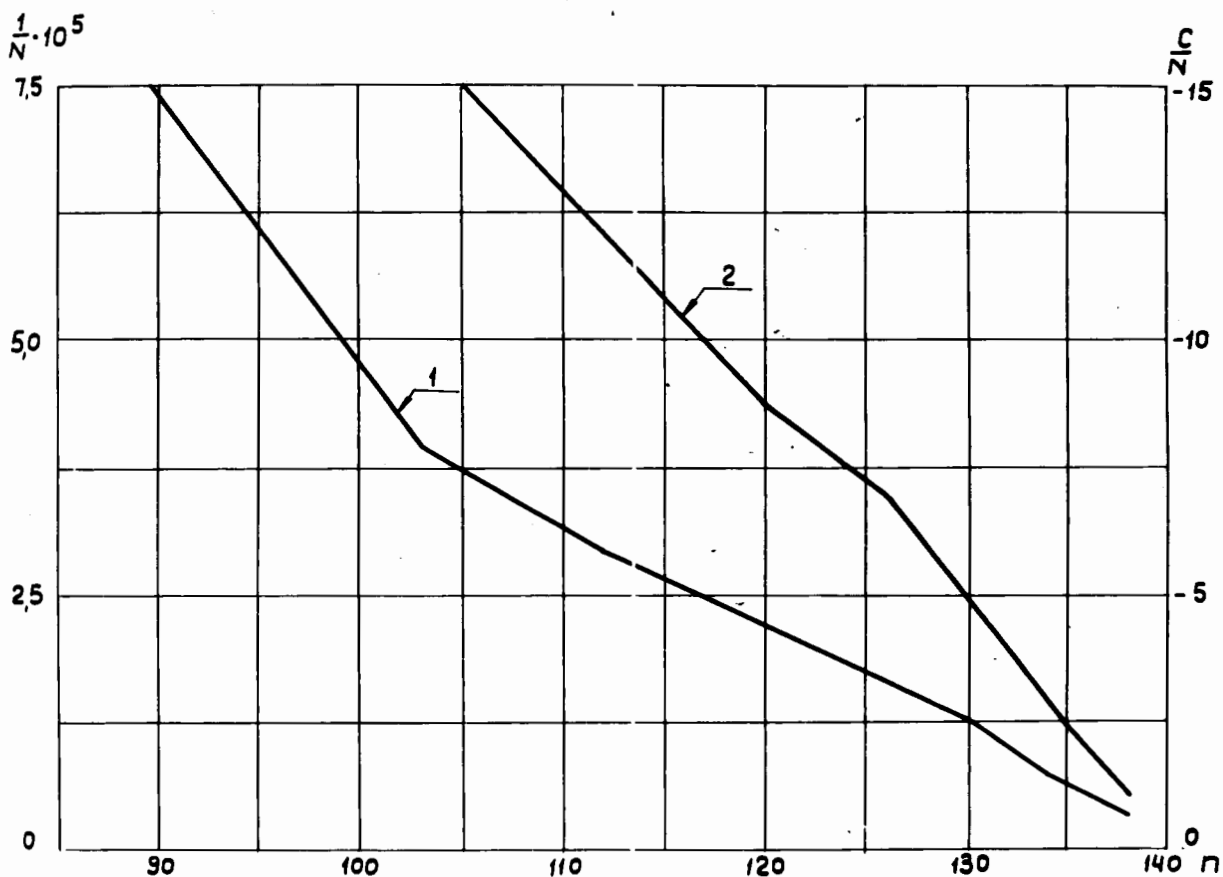


Рис. 1 Реактивность (1) и величина обратного счета (2) в зависимости от числа стержней в зоне.

N - счет пускового канала за 5 мин.,
 C/N - реактивность в процентах,
 n - число стержней в зоне.

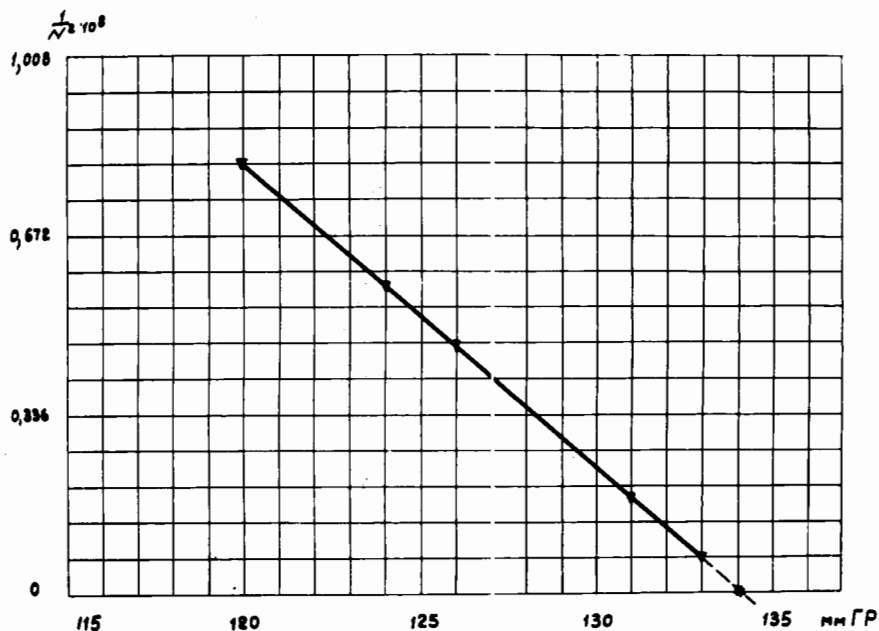


Рис. 2 Зависимость квадрата обратного счета пускового канала ИБР-30 от реактивности. Частота импульсов мощности 100 гц, время одного измерения 1 мин., экстраполированное значение мгновенной критичности соответствует фактическому (134 мм ГР). По оси абсцисс – величина ввода в зону стержня грубого регулятора.

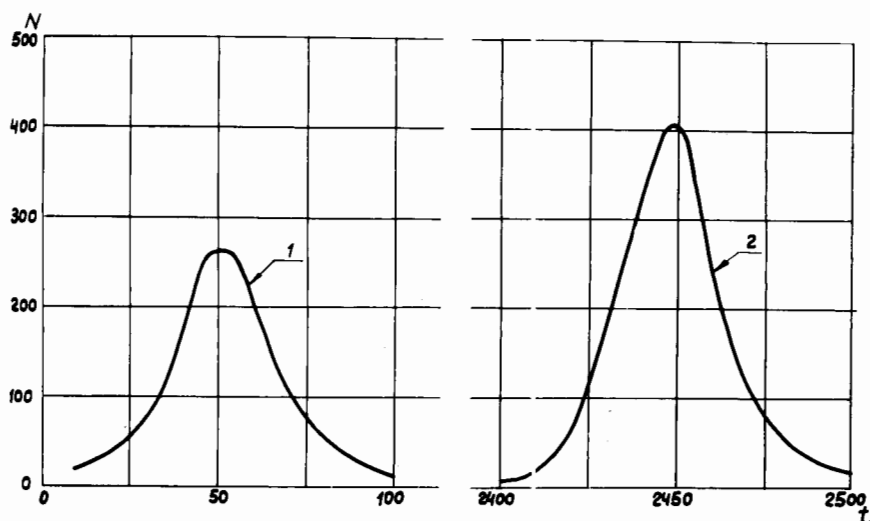


Рис. 3 Вспышки излучения в момент развития импульсов мощности реактора при поочередной работе основных подвижных зон (ОПЗ) ИБР-30.

N – счет в канале анализатора,

t – номер канала, ширина канала 4 мксек,

1 – соответствует ОПЗ № 1, 2 – соответствует ОПЗ № 2, детектор – кристалл NaJ , средняя мощность реактора 400 вт, частота импульсов 100 гц, скорость диска ОПЗ 3000 об/мин, время измерения 15 мин.

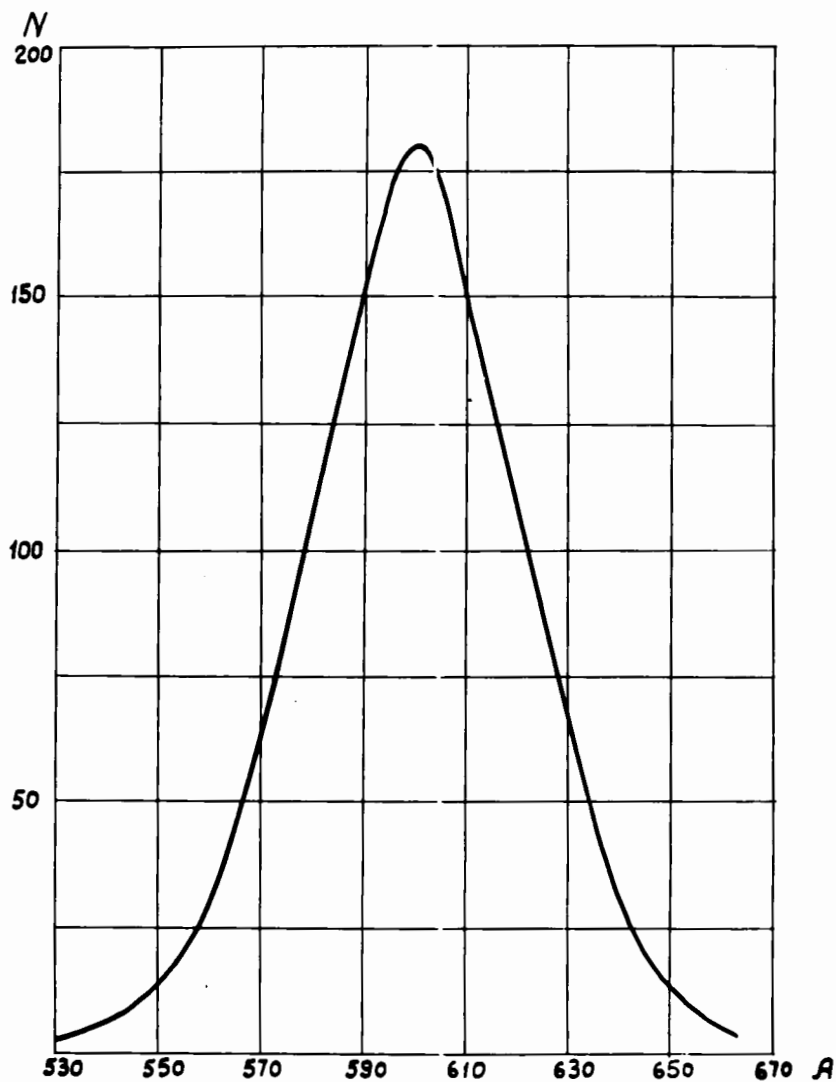


Рис. 4

Амплитудное распределение импульсов мощности ИБР-30 при работе одной основной подвижной зоны (ОПЗ)

N - счет в канале, A - номер канала, средняя мощность реактора 1 квт, частота импульсов 5 гц, скорость диска ОПЗ 3000 об/мин.

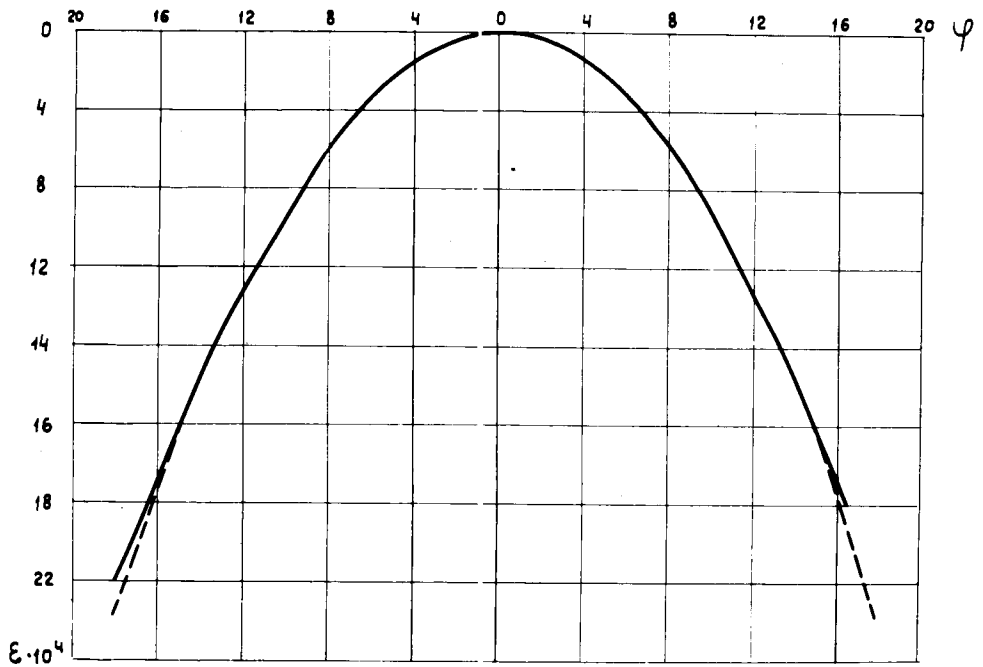


Рис.5 Кривая эффективности вспомогательной подвижной зоны ИБР-30
 ϵ - реактивность,
 φ - угол поворота диска в градусах,
 $\varphi = 0$ - вспомогательная зона совмещена с неподвижной. Пунктир - парабола с параметром $\alpha_2 = 7.35 \times 10^{-6}$ I/град².

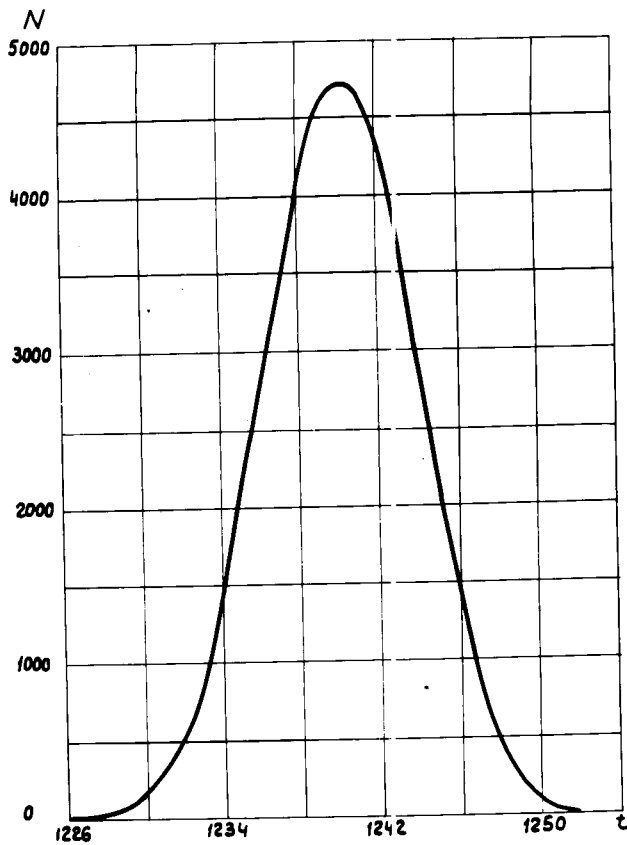


Рис.6. Распределение крутильных колебаний диска основной подвижной зоны относительно диска вспомогательной подвижной зоны.

N — счет в канале,
 t — номер канала, ширина канала 16 мксек,
 скорость диска ОПЗ — 3000 об/мин, скорость диска
 ВПЗ — 300 об/мин.

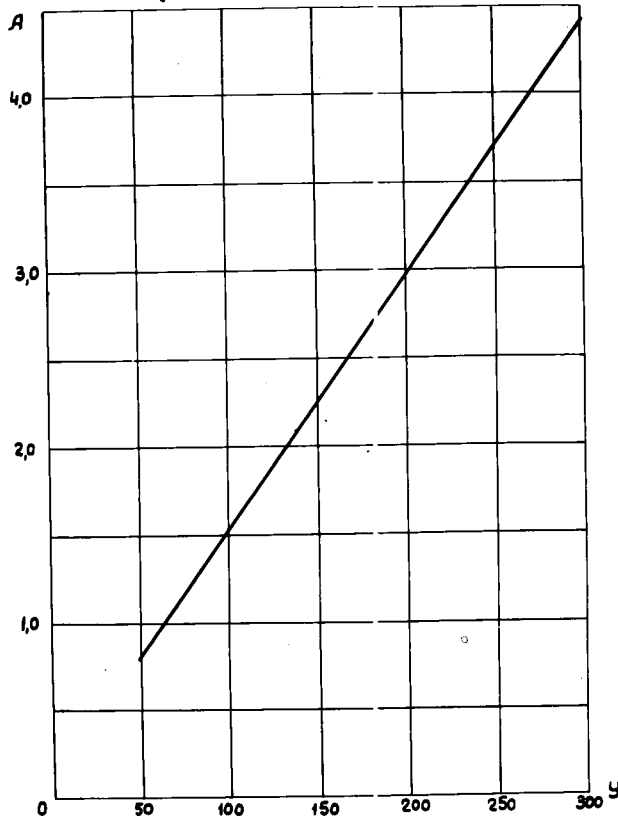


Рис.7 Зависимость амплитуды импульса канала аварийной защиты (A , вольты) от умножения (k) реактора.

Т а б л и ц а I

№ п/п	Параметры реактора ИБР-30	Ед.изм.	Значение ^ж
1.	Реактивность ОПЗ	%	5,5
2.	—" ВПЗ	—"	1,3
3.	—" АС-1	—"	0,96
4.	—" АС-2	—"	1,2
5.	—" ГР	—"	2,3
6.	—" РР	—"	0,156
7.	—" АР	—"	0,034
8.	—" свинцового экрана с про- слойкой из оргстекла	—"	1,95
9.	—" замедлителя 40 мм H ₂ O + + 10 мм В ₄ С	—"	1,83
10.	Импульсная критичность при частоте 100 гц	—"	0,044
11.	—" " " " " 4 гц	—"	0,08
12.	α ОПЗ	см ⁻²	$6 \cdot 10^{-4}$
13.	Доля запаздывающих нейтронов	%	0,29 ± 0,03
14.	Время жизни нейтронов	сек	$(1,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-8}$
15.	Мощностной коэффициент реактивности реактора	квт ⁻¹	$0,015 \cdot 10^{-2}$
16.	Подогрев воды в замедлителе	0С·квт ⁻¹	0,8

ж) Измерения выполнены во время пуска ИБР-30 в 1969 году.
Точность измерения ± 10 %.

Таблица 2

N п/п	Дата	Замед- литель	частота импуль- сов мощности 1/сек.	скорость ОПЗ об/ мин.	Охлаж- дение элемен- тов зоны	АС-1 АС-2	АР мм	Полость I	Полость II	Экспе- рим. канал	канал редких импуль- сов	канал мише- ни	Относительные умножен- ные мгноб. критич.			Положен. ГР, соответств. оценке полож. мгноб. критичн. мм.	Положен. РР, соответств. импуль- сов критич- ности мм.
													PK I	PK II	PK III		
1	29. 05. 73г	40мм H2O +10мм B4C	100	3000	вкл.	вверху	вверху	пустая	Ра-Ве источник	АЕ- вставка	АЕ- вставка	Рис	6	18	18	114	44
2	30. 05. 73г	40мм H2O	100	3000	"	"	"	"	"	"	"	"	6	18	17	121	62
3	06. 06. 73г	"	5	3000	"	"	"	"	"	"	"	"	2,2	4	4	123	76
4	18. 06. 73г	"	4	2400	"	"	70	"	"	"	"	"	2,1	4	4	124	73
5	13. 07. 73г	40 H2O +10 B4C	100	3000	"	"	70	"	"	"	"	W- мч- шень	6	15	15	134	50
6	08. 08. 73г	40мм H2O	4	2400	"	"	"	"	"	"	"	"	2,3	5	5	145	44
7	06. 09. 73г	40H2O + +10 B4C	100	3000	"	"	"	"	"	пустой	"	"	4,2	10	10	138	69

Таблица 3

Передача	Скорость ОПЗ об/мин	Скорость ВПЗ об/мин	Угол сдвига ВПЗ, эквива- лентный 700-мксек градусы
I : I	3000	600	2.52
I : 0.8	3000	480	2.02
I : 0.5	3000	300	1.26

ЛИТЕРАТУРА.

1. И.И.Бондаренко, Ю.Я.Стависский, АЭ, 7, (1959), 417-420.
2. Б.Н.Бунин, В.М.Левин и др., ОИЯИ, 13-6213, Дубна, 1972.