

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



С348a

Б-12

6/11-76
P13 - 10045

4882/2-76

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

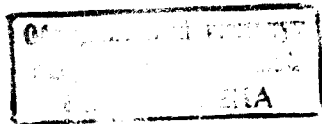
ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСНОГО
БЫСТРОГО РЕАКТОРА ИБР-30
ПОСЛЕ ЗАМЕНЫ ОСНОВНЫХ ПОДВИЖНЫХ ЗОН

1976

P13 - 10045

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

ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСНОГО
БЫСТРОГО РЕАКТОРА ИБР-30
ПОСЛЕ ЗАМЕНЫ ОСНОВНЫХ ПОДВИЖНЫХ ЗОН



1. В реакторе ИБР-30 Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ основные подвижные зоны (ОПЗ) первой загрузки, выполненные из урана-235 90% обогащения, успешно проработали в течение $2,3 \times 10^4$ час в условиях центробежных нагрузок, превышающих $4 \times 10^3 g$, при температуре оболочек до $300^\circ C$; выгорание достигло 276 МВт-суток на тонну. Упругие и пластические деформации защитных оболочек за это время не превышали 0,1 мм. В то же время вдвое возросла разность средних амплитуд импульсов мощности, формируемых при поочередной работе зон ^{1/}, дисбаланс которых по реактивности возник вследствие изменения их положения в гнездах диска под действием тепловых ударов и центробежных нагрузок. В связи с тем, что фактическое время работы ОПЗ вдвое превысило запланированное, в конце 1975 года в реакторе ИБР-30 был установлен новый диск с основными подвижными зонами. Конструкция их оставлена прежней (конструкция реактора ИБР-30 описана в работах ^{2, 3/}), но для исключения смещений введена дополнительная фиксация зон в гнездах диска. Одновременно на реакторе была установлена новая технологическая машина - главный привод с кинематической системой, приводящей в движение диски основной и вспомогательной подвижных зон. Заменены также сервоприводы органов регулирования. В процессе физического пуска ИБР-30 были измерены флуктуации амплитуд импульсов мощности при различных частотных режимах, а также значения основных параметров, определяющих стабильность работы реактора и его систем.

2. Разность реактивностей подвижных зон оценивалась на этапе стационарного пуска методом измерения интенсивности цепной реакции деления, поддерживаемой в подкритическом реакторе внешним источником при совмещении с неподвижной зоной сначала ОПЗ-1, а затем ОПЗ-2. Для каждой подвижной зоны вблизи максимума реактивности измерения проводились в нескольких точках. Максимальное умножение системы при совмещении подвижной и неподвижной зон не превышало 1000. Перемещение диска ОПЗ производилось дистанционно-управляемым механизмом медленного вращения.

Во время измерения интенсивности нейтронного излучения положение диска ОПЗ определялось по сельсину-указателю с ценой деления 1,12 мм. В качестве нейтронных датчиков измерительных каналов использовались счётчики типа СММ-11 и СММ-14, расположенные вблизи активной зоны реактора. Измерительная аппаратура описана в работе /1/. На рис. 1 приведены результаты измерений по одному из каналов, измерения по другим идентичны.

Абсолютное значение реактивности (ϵ) определялось по отношению к известной эффективности грубого регулятора:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{(1/N_1 - 1/N_2)} \cdot \frac{1}{N}$$

Здесь N - скорость счёта измерительного канала при фиксированном положении ОПЗ, $N_1, N_2, \epsilon_1, \epsilon_2$ - скорости счёта и значения реактивностей, соответствующие двум положениям грубого регулятора. Эффективность ОПЗ-1 оказалась выше ОПЗ-2 на величину $(4 \pm 2) \times 10^{-5}$.

3. Разница наиболее вероятных амплитуд импульсов мощности, поочередно формируемых ОПЗ-1 и ОПЗ-2, была измерена в режиме работы ИБР-30 с частотой повторения импульсов 100 Гц. Сигналы, пропорциональные амплитудам импульсов, снимались с установленной около активной зоны ионизационной камеры

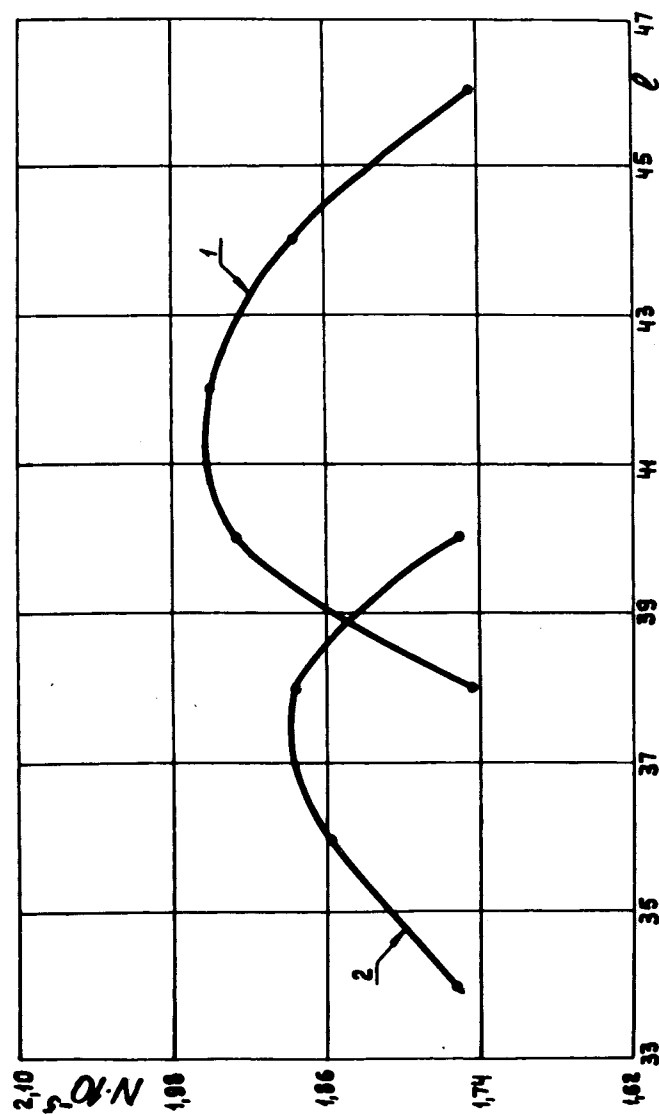


Рис. 1. Зависимость счёта измерительного канала от положения ОПЗ. N - счёт, ℓ - положение ОПЗ относительно неподвижной зоны, отн.ед., 1 - ОПЗ-1, 2 - ОПЗ-2.

и после усиления регистрировались многоканальным амплитудным анализатором ^{/4/}. На рис. 2 хорошо видны два перекрывающихся друг друга распределения амплитуд импульсов мощности, формируемых каждой зоной. Оба распределения симметричны по отношению к наиболее вероятным значениям, а их отношение $A_1/A_2 = 1,15 \pm 0,5$, вместо 1,55 до замены зон ^{/1/}. Тогда из известного соотношения, связывающего амплитуду импульса с параметрами реактора:

$$A \sim \epsilon^{-1/4} \exp\left(\frac{4}{3} \epsilon_0^{3/2} a^{-1/2} \tau^{-1} v^{-1}\right),$$

где $\epsilon_0 = 4 \times 10^{-4}$ - равновесная надкритичность реактора ИБР-30 для частоты 100 Гц и скорости ОПЗ $v = 138$ м/с; $a = 6 \times 10^{-4}$ 1/см² - параметр параболы, который аппроксимируется зависимостью реактивности ОПЗ от времени в области основного формирования импульса мощности, $\tau = 1,6 \times 10^{-8}$ с - время жизни мгновенных нейтронов, находим, что разность реактивностей ОПЗ-1 и ОПЗ-2 равна $(2,0 \pm 0,7) \times 10^{-5}$.

Так как получено удовлетворительное разделение мощности реактора между подвижными зонами при их поочередной работе, дополнительной физической балансировки ОПЗ-1 и ОПЗ-2 из-за ее трудоемкости не производилось. Вместе с тем мы надеемся, что с течением времени некоторое сближение зон по реактивности будет происходить вследствие повышенной скорости выгорания урана-235 в более эффективной подвижной зоне. Для ускорения этого процесса предусмотрено увеличение удельного веса работы ИБР-30 с более эффективной зоной.

4. Отношение полуширины амплитудного распределения импульсов мощности, формируемых каждой зоной, к наиболее вероятной (рис. 2) для обеих зон одинаково и равно 0,08. Для частоты следования импульсов 5 Гц (рис. 3) это отношение больше и составило 0,09 (вместо 0,16 до замены технологической машины (см. рис. 4)). Некоторое ухудшение амплитудного распределения объясняется дополнительными флюктуациями

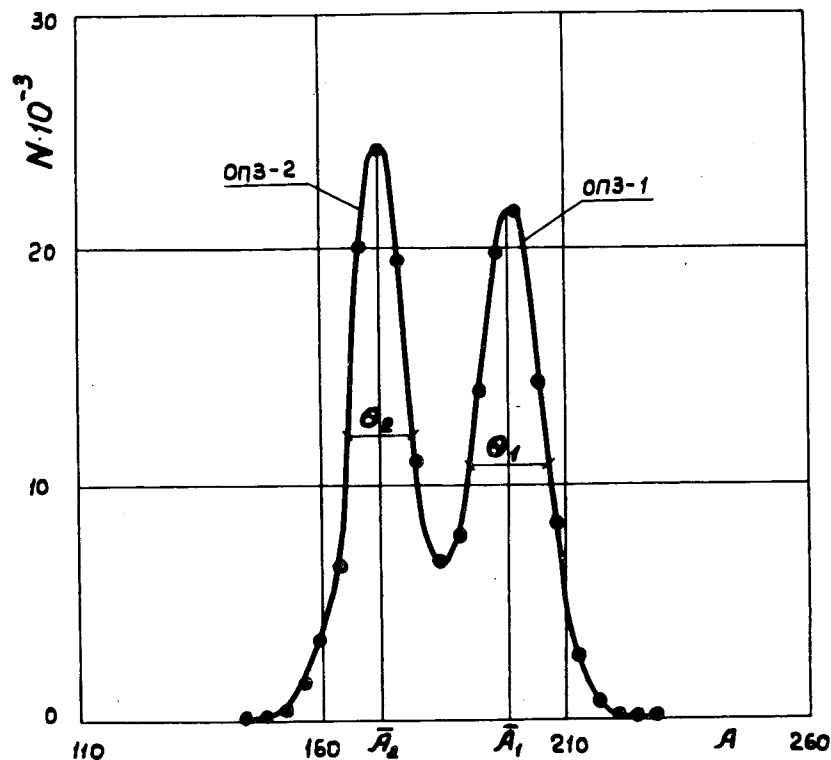


Рис. 2. Распределение амплитуд импульсов мощности ИБР-30. N - счёт в канале анализатора, A_2 - амплитуда импульса мощности, отн.ед., $\Theta_1, \Theta_2, \bar{A}_1, \bar{A}_2$ - полуширина и наиболее вероятная амплитуда соответственно для ОПЗ-1 и ОПЗ-2. Режим работы реактора: средняя мощность 15 кВт, частота импульсов 100 Гц, скорость диска ОПЗ 50 об/с.

реактивности, вызываемыми крутильными колебаниями вспомогательной подвижной зоны.

Флюктуации амплитуд импульсов мощности в реакторе ИБР-30 определяются колебаниями реактивности, скорости основной подвижной зоны, интенсивности

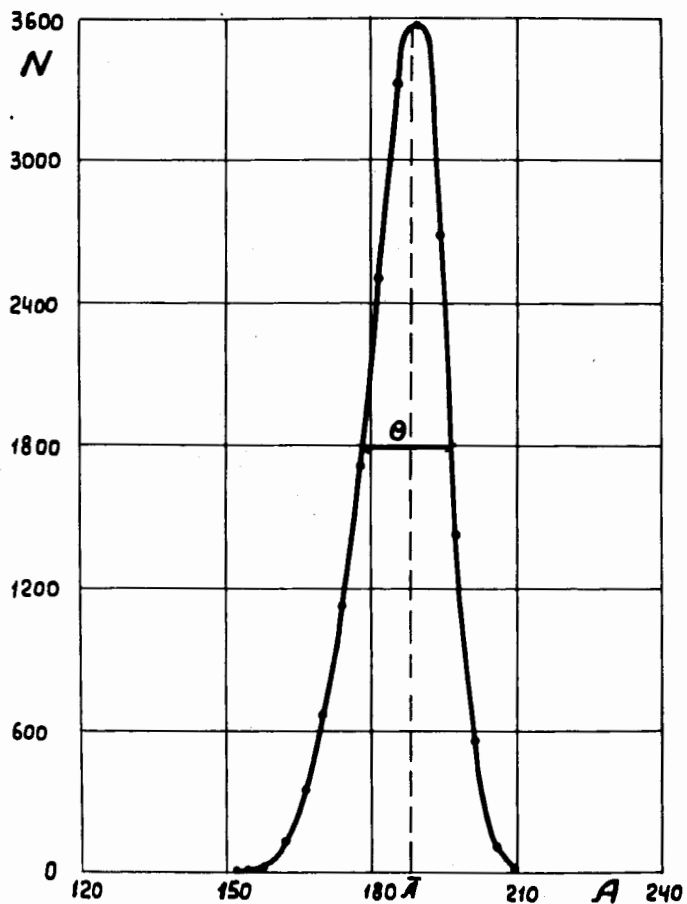


Рис. 3. Распределение амплитуд импульсов мощности ИБР-30. N - счёт в канале анализатора, A - амплитуда импульса мощности, отн.ед., Θ , \bar{A} - полуширина и наиболее вероятная амплитуда. Режим работы реактора: средняя мощность - 15 кВт, частота - 5 имп/с, скорость диска ОПЗ 50 об/с.

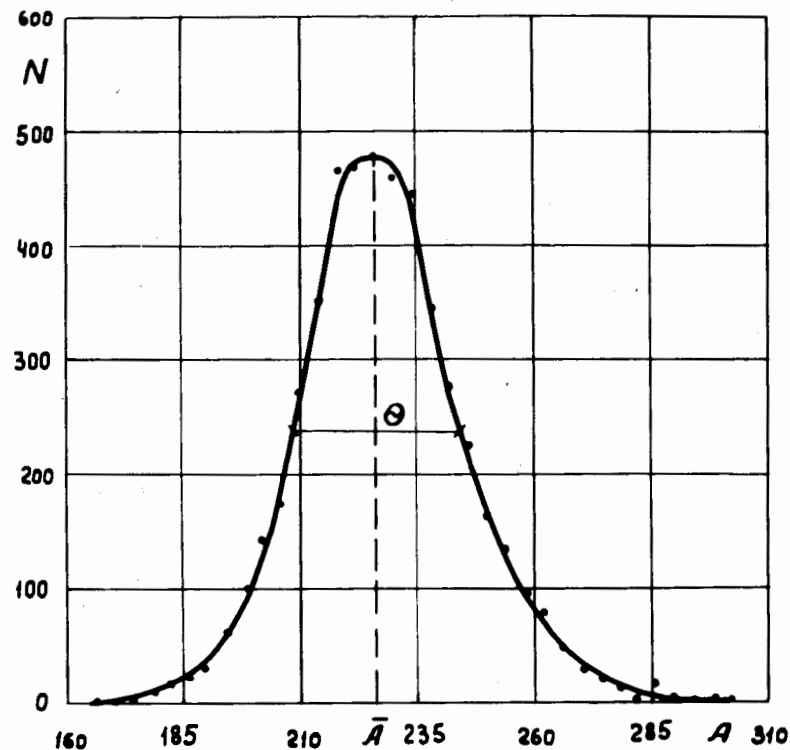


Рис. 4. Распределение амплитуд импульсов мощности ИБР-30 до замены ОПЗ. N - счёт в канале анализатора, A - амплитуда импульса мощности, отн.ед., Θ , \bar{A} - полуширина и наиболее вероятная амплитуда. Режим работы реактора: средняя мощность 13 кВт, частота - 5 имп/с, скорость диска ОПЗ 50 об/с.

источника запаздывающих нейтронов, а также статистическим характером размножения нейтронов при развитии импульса мощности. Последний эффект при средней мощности выше нескольких киловатт незначителен (сравнить рис. 3 и рис. 5). Воздействие друг на друга соседних импульсов мощности различных энер-

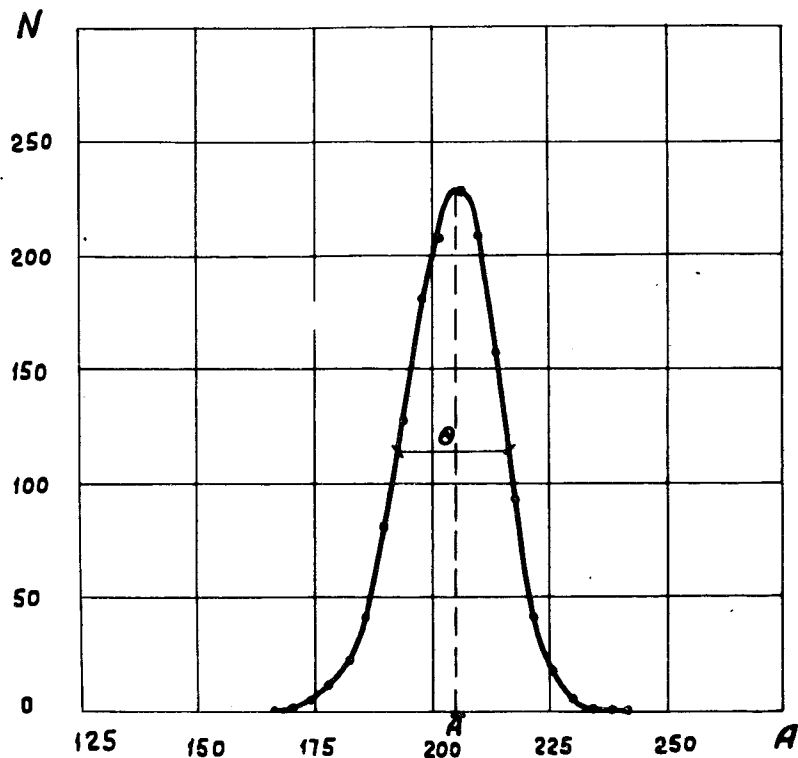


Рис. 5. Распределение амплитуд импульсов мощности ИБР-30. N — счёт в канале анализатора, A — амплитуда импульса мощности, отн. ед., Θ , \bar{A} — полуширина и наиболее вероятная амплитуда. Режим работы реактора: средняя мощность 1 кВт, частота — 5 имп/с, скорость диска ОПЗ 50 об/с.

гий происходит вследствие изменения интенсивности источника запаздывающих нейтронов и изменения реактивности, вызываемого отрицательным мощностным коэффициентом. Оба эти процесса по эффекту противоположны: пониженная энергия импульса повышает реактивность к моменту формирования очередного импульса за счёт охлаждения зоны, но вместе с тем сни-

жается интенсивность запаздывающих нейтронов и эффект частично компенсируется. На рис. 6 показаны последовательности амплитуд импульсов мощности ИБР-30, формируемых ОПЗ-1 и ОПЗ-2 с разностью реактивности $2,6 \times 10^{-5}$. Колебания энергий дополнительно усилены искусственной рассинхронизацией дисков ОПЗ и ВПЗ. Из эксперимента не удается найти корреляции между соседними импульсами мощности.

Основной вклад в разброс энергий импульсов мощности вносят колебания реактивности, связанные с вибрацией стержней неподвижной зоны и осевыми биениями диска ОПЗ. Снижение флуктуации реактивности и, как следствие, амплитуд импульсов мощности после замены зон достигнуто повышенной точностью изготовления технологической машины и тщательной балансировкой подвижных элементов.

5. Распределение взаимных крутильных колебаний дисков ОПЗ и ВПЗ, вращающихся соответственно со скоростью 3000 и 300 об/мин, приведено на рис. 7. Сигналы с датчиков контроля взаимного положения дисков через электронную схему ¹⁴ регистрировались многоканальным временным анализатором. В новой технологической машине датчик положения диска вспомогательной подвижной зоны (ВПЗ) установлен непосредственно на валу, и на распределении отчетливо выявляется асимметрия, вызываемая неравномерностью работы кинематической цепи (2 на рис. 7). В старой технологической машине удаление датчика от диска ВПЗ рядом нежестких соединений сглаживало реальный характер вращения диска (1 на рис. 7). По абсолютной величине размах взаимных колебаний дисков не превышает 2° .

В заключение считаем своим долгом поблагодарить И.М.Франка, Е.Д.Воробьева за интерес к работе и полезные обсуждения, Г.П.Жукова, Г.Н.Зиминой, В.А.Бельковца за помощь в проведении измерений.

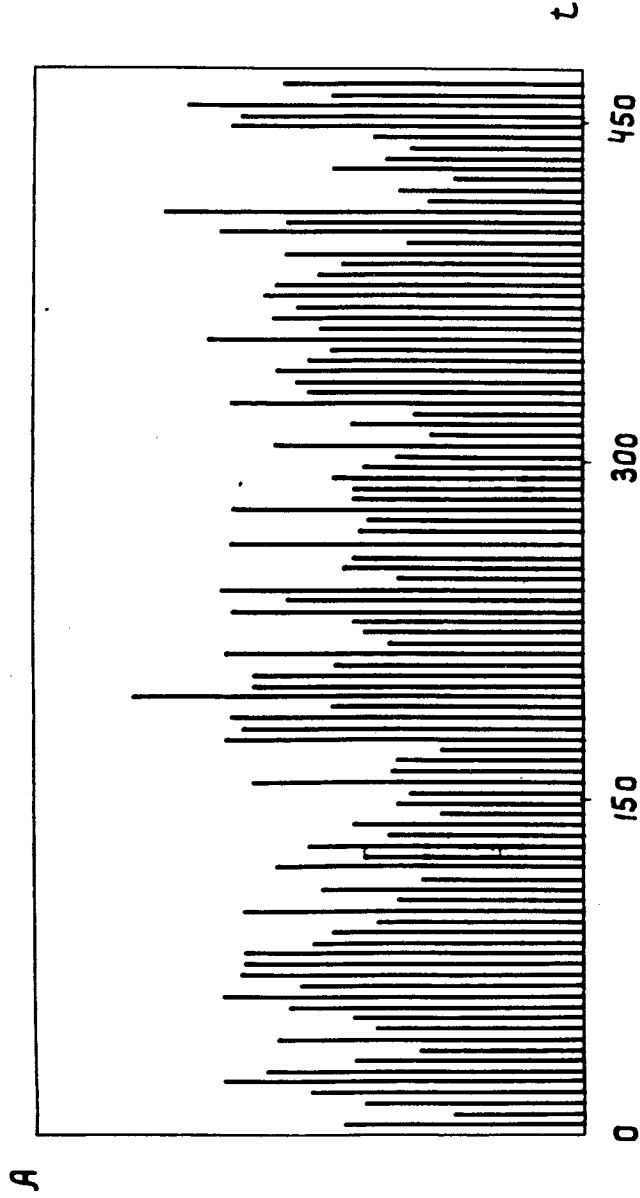


Рис. 6. Последовательность амплитуд импульсов мощности реактора ИБР-30 до замены ОПЗ. А - амплитуда импульса, отн.ед., t - время, с. Режим работы: средняя мощность 12 кВт, частота - 0,21 имп/с, скорость диска ОПЗ 50 об/с, импульсы мощности формируются поочередно ОПЗ-1 и ОПЗ-2 с разностью реактивности $2,6 \times 10^{-5}$, искусственно нарушена синфазность вращения дисков ОПЗ и ВПЗ.

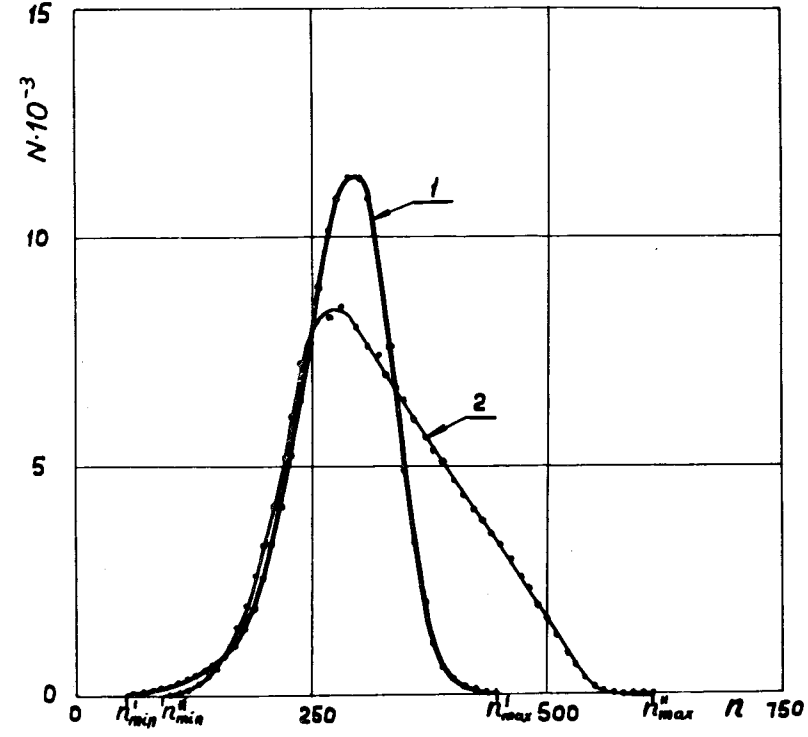


Рис. 7. Распределение крутильных колебаний дисков ОПЗ и ВПЗ ИБР-30. n - номер канала анализатора, ширина канала 2 мкс, N - счёт в канале, 1, 2 - распределение колебаний соответственно до и после замены ОПЗ. $(n'_{\max} - n'_{\min})$ и $(n''_{\max} - n''_{\min})$ - размах крутильных колебаний соответственно для распределения 1 и 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И.Бабаев, Э.И.Витальев и др. ОИЯИ, Б1-3-8839, Дубна, 1974.
2. В.Т.Руденко. ОИЯИ, 13-5764, Дубна, 1974.
3. В.С.Дмитриев, Л.С.Ильинская и др. ОИЯИ, Р13-8045, Дубна, 1974.
4. В.Т.Руденко, Б.Н.Соловьев, В.Г.Тишин. ОИЯИ, 13-8281, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 августа 1976 года.