

**М.А. Киселёв**

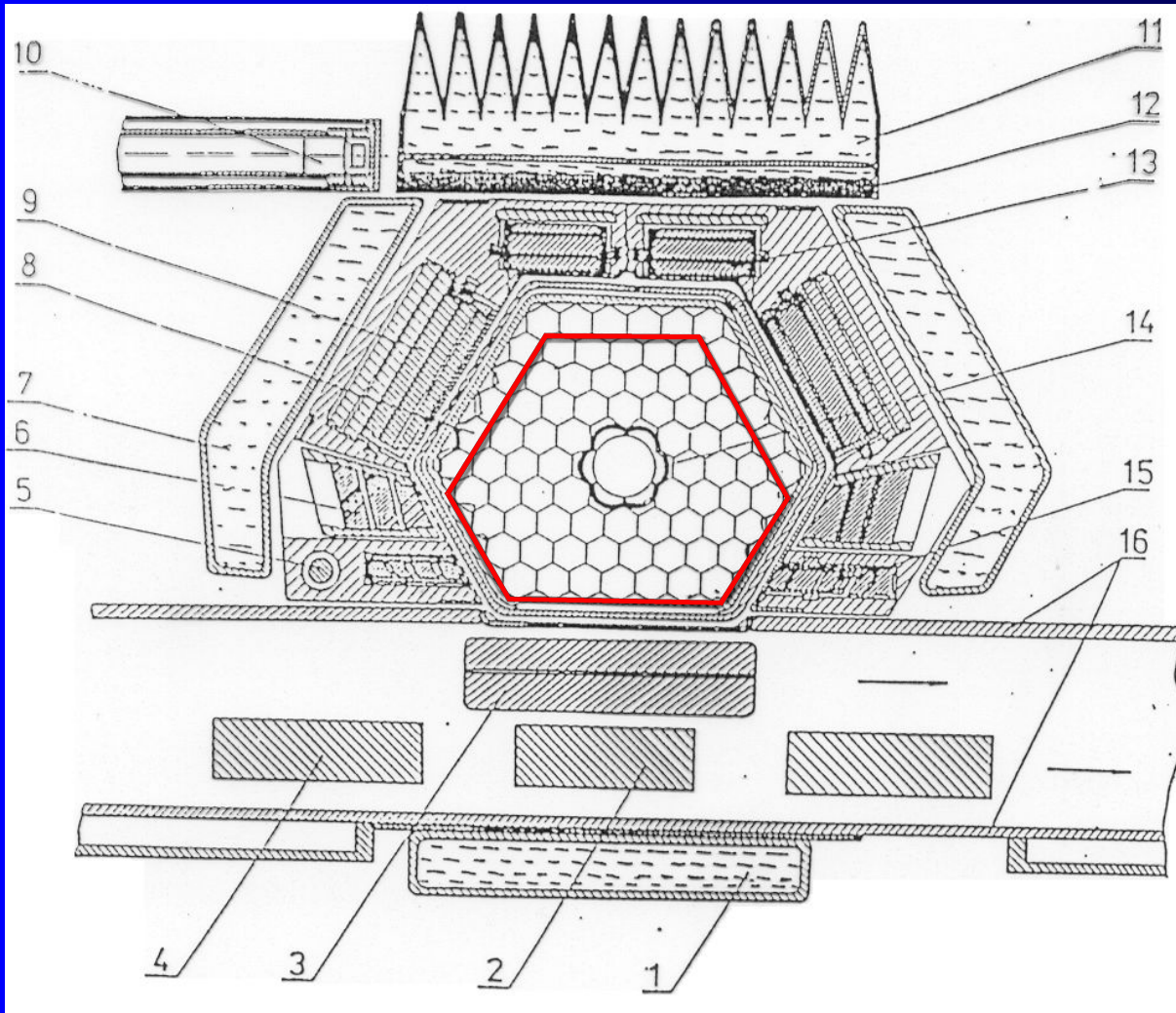
**Курс «Атомные реакторы и ядерная  
энергетика»**

Лекция 10

**Каналы контроля мощности  
ИБР-2**

ДУ, 3 декабря 2015

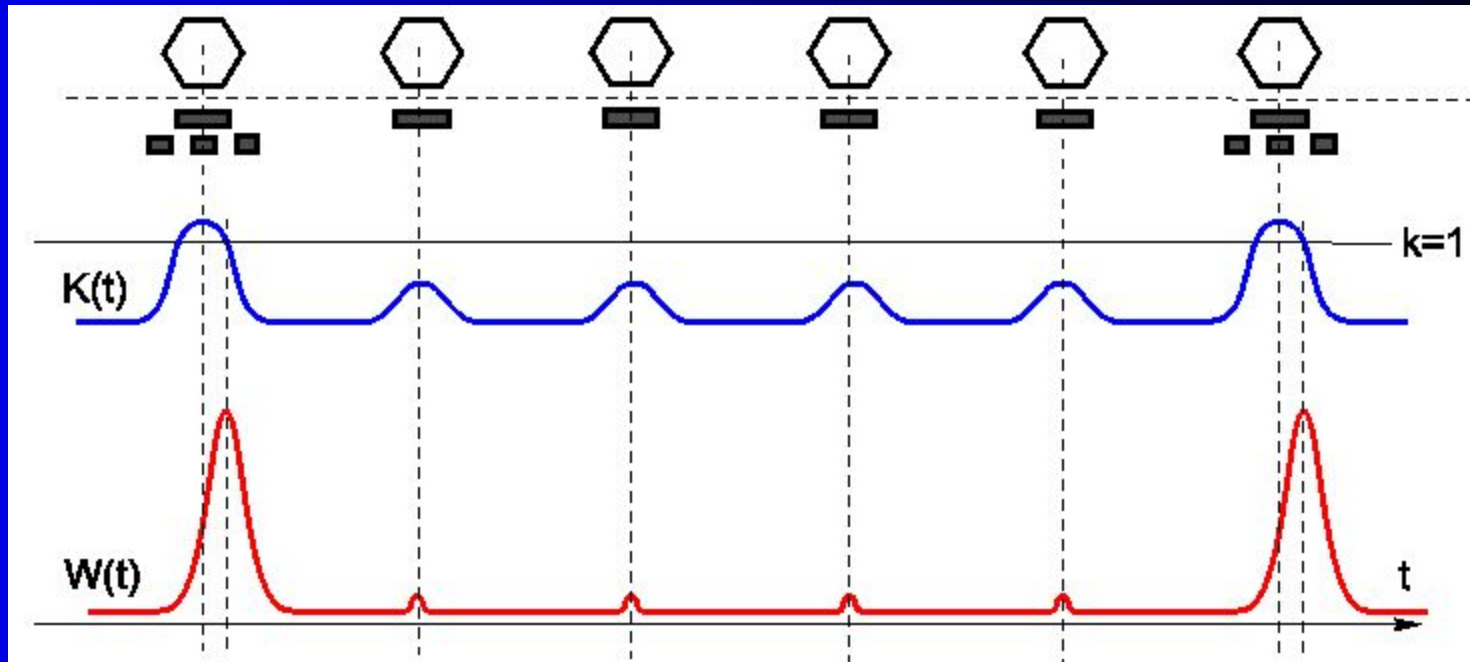
# The central part of the IBR-2 reactor (lay-out)



- 1, 7 – flat water moderators
- 2, 4 – additional movable reflector
- 3 – main movable reflector
- 5 – automatic regulator
- 6 – fast safety blocks
- 8 – fuel assembly
- 9 – compensating blocks
- 10 – pneumatic rabbit tube
- 11 – grooved water moderator
- 12 – methane layer
- 13 – slow safety blocks
- 14 – active core
- 15 – intermediate regulator
- 16 – movable reflector jacket

# Movable reflector (MR-1, 2, 2R)

$N = 5 \text{ 1/c}$  ( $N_{\text{MMR}} = 1500 \text{ rev/min}$ ,  $N_{\text{AMR}} = 300 \text{ rev/min}$ )



MR determines :

1. Depth of reactivity modulation  $W_{\phi} = \overline{W} \frac{\beta_{\phi}}{\Delta k_{\phi} \epsilon_m}$
2. Amount and amplitude of the secondary pulses
3. Speed of a reactivity change by pulse generation

$$\Theta \sim 3 \sqrt{\frac{\tau}{\alpha v^2}}$$

# Каналы контроля мощности и ПО



# Пусковой канал

$$1 \text{ вт} = 3.1 \cdot 10^{10} \text{ дел/сек} \approx 6 \cdot 10^{10} \text{ н/сек}$$

- 4 положения камер деления +верх
- Диапазон от уровня источника ( $10^{-2}$  вт) до  $10^2$  вт
- Режимы: критсборка, счет в воротах, счет между ворот (разрешающее время усилительной системы 0.2 мксек)
- Защита (МАЗ) срабатывает по периоду разгона и скорости счета.

$$10^{N(\text{дек/мин})} = e^{\frac{60}{T(\text{сек})}}$$

$$T(\text{сек}) = \frac{26}{N(\text{дек/мин})}$$



## Привода камер деления

- 3 камеры. 4 положения + «верх»
- Ручное дистанционное управление на перемещение вверх и вниз
- Автоматический подъем вверх до 5 положения при начале работы 2 из 3 ЛГУ
- Запрет на движение после взвода АЗ (логика)
- Блокировка предупредительных и аварийных сигналов при движении камер (логика)
- Сигнал на взвод АЗ при: соответствии положения 2 из 3 камер заданному, отсутствия сигнала окончания работы ПК, включения 2 из 3 блоков питания БП-30
- Сигнал движения камеры запрещает перемещение КО, ПР, АР.

## Подъем мощности можно осуществлять после:

- Установки камер деления в заданное положение
- Наличии сигнала «Начало работы 2 из 3 пусковых каналов. Этот сигнал обеспечивает разрешение на взвод БАЗ и МАЗ
- Исправности пусковой аппаратуры. То есть отсутствии сигнала неисправности по 2 из 3 ПК
- Сигнал неисправности равнозначен сигналу уменьшения периода разгона. При неисправности 2 ПК подается сигнал на сброс МАЗ





# Характеристики пускового канала

- Эффективность камер деления RJ-200 равна  $0.25 \text{ им/н/см}^2 \cdot \text{сек}$
- Начало работы канала 5-20 имп/сек
- Разрешающее время усилительных систем 0.2 мксек. Граница для просчетов 2 мксек -  $5 \cdot 10^5 \text{ имп/сек}$
- В режиме критсборка защита по скорости счета и по периоду разгона.
- В импульсном режиме защита только по периоду разгона.
- При переключении из 1 режима (счет в воротах) во второй режим (счет по фону) триггер периода блокируется на 2 мин, при этом формируется сигнал неисправности
- При начале работы 2 из 3 логарифмических каналов формируется сигнал конец работы ПК, камеры вверх.

# Логарифмический канал

- 3 положения ионизационных камер
- Диапазон от 1 Вт до  $10^4$  Вт
- Измеряет скорость нарастания мощности от 0 до 2.5 дек/мин
- Измеряет скорость спада мощности от 0 до  $-0.5$  дек/мин
- Работает с задатчиком мощности

# Линейные каналы и канал АР

- 4 линейных канала + канал АР
- RWKJ-8, чувствительность  $1.5 \cdot 10^{-4}$  а/н/см<sup>2</sup>·сек
- Диапазон 40 кВт-4МВт
- Средняя амплитуда сигнала на входе Зв при сигнале разбаланса АР=0 и номинальной мощности
- Защита (БАЗ) при превышении амплитуды импульса на 100%, уменьшения на 50%
- Защита (МАЗ) при превышении средней мощности на 20%



## Принцип регулирования мощности - усреднение по импульсам во времени с весами

$$\bar{W}_n = \frac{W_n}{k} + \frac{W_{n-1}}{k} \cdot \left(1 - \frac{1}{k}\right) + \frac{W_{n-2}}{k} \cdot \left(1 - \frac{1}{k}\right)^2 + \frac{W_{n-3}}{k} \cdot \left(1 - \frac{1}{k}\right)^3 + \dots$$

$k = 4, 8, 16, 32 - 32$  по выбору оператора

# Флуктуации энергии импульса без обратных связей

$$\Delta^2 = \Delta^2(\bar{W} = 0) + \frac{0.14}{\bar{W}}$$

механические

статистические

$$\Delta(\bar{W} = 0) = \begin{array}{l} 2 - 3\% \text{ при } 25 \text{ гц} \\ 6 - 7\% \text{ при } 5 \text{ гц} \end{array}$$

Внезапно начавшиеся флуктуации вызывают разгон реактора

$$\frac{\varepsilon_{m0}}{\bar{\varepsilon}} \approx 1 + \frac{2B^2 - B/2 + 3/8}{2B - 1/2} \cdot \delta_\varepsilon^2$$

$$B = \frac{\varepsilon_m^{3/2}}{\alpha^{1/2} \cdot \nu \cdot \tau} > 2$$



Наличие обратных связей увеличивает флуктуации вне зависимости от знака обратной связи

$$\Delta_{\text{БОС}}^2 = \frac{\Delta_{\text{ОС}}^2}{1 + \chi^2}$$

$\chi$  - величина обратной связи, + или -

Отсюда следует, что  $\Delta$  без обратных связей (БОС) меньше, чем  $\Delta$  с обратными связями.

Обратная связь увеличивает вероятность появления больших импульсов мощности вне зависимости от её знака

# Здание реактора ИБР-2

