

М.А. Киселёв

Курс «Основы физики и техники ядерных реакторов»

Лекция 8

Формирование импульса мощности ИБР-2. Одноточечное приближение.

Каналы контроля мощности

НИИАФ МГУ, 29 октября, 5 ноября 2015

Пульсация реактивности

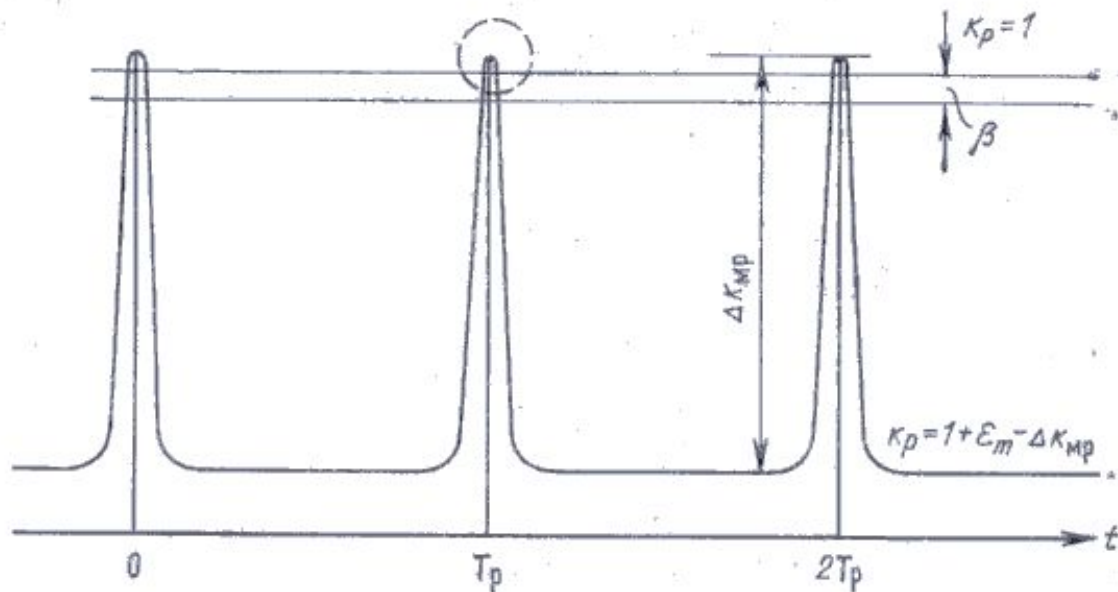


Рис. 5.2. Пульсация реактивности ИРПД (T_p — период пульсации реактивности; $k_p = 1$ — уровень реактивности, соответствующий критичности на мгновенных нейтронах; Δk_{mr} — глубина модуляции реактивности)

Парабола реактивности

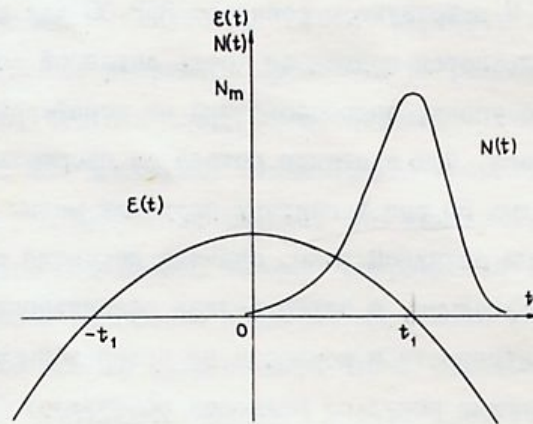


Рис. I. Зависимость реактивности (ϵ) и мощности (N) импульсного реактора типа ИБР от времени при развитии импульса мощности.

Во время импульса мощности реактивность

$$\varepsilon = \frac{k_p - 1}{k_p}$$

хорошо описывается параболой

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m - \alpha v^2 t^2$$

Одноточечное уравнение кинетики

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\varepsilon(t) \cdot N}{\tau} + \frac{S}{\tau}$$

$N(t)$ – мощность реактора н/сек
 τ – среднее время жизни одного поколения мгновенных нейтронов

Приближенное аналитическое решение

$$N(x) = N_{\max} \cdot \exp(-Bx^2) \cdot \exp(-Bx^3)$$

$$x = \frac{t - t_1}{t_1} \quad \text{безразмерное время}$$

$$B = \frac{\varepsilon_m^{3/2}}{v\tau\sqrt{\alpha}}$$

$$N_{\max} = S \cdot \frac{\sqrt{\pi B}}{\varepsilon_m} \cdot L(B) \cdot \exp\left(\frac{4B}{3}\right)$$

$$L(B) = 1.05 - 1.1$$

$$\Theta_{1/2} = 1.665 \frac{\tau^{1/2}}{v^{1/2} \cdot \alpha^{1/4} \cdot \varepsilon_m^{1/4}}$$

В равновесных условиях

$$\Theta_{1/2} \approx 1.4 \cdot \left(\frac{\tau}{\alpha v^2} \right)^{1/3} = 200 \text{ мкс}$$

Энергия импульса мощности

$$Q = \int N(t) \cdot dt = S \cdot \frac{\pi \cdot L^2(B)}{v \cdot \sqrt{\alpha \varepsilon_m}} \cdot \exp\left(\frac{4}{3} \cdot B\right) = S \cdot M(\varepsilon_m)$$

$M(\varepsilon_m)$ – фактор умножения нейтронов в импульсе

$$\frac{N_f}{\overline{N}} = \frac{\beta_{\text{эфф}}}{|\varepsilon_m - \Delta k_{\text{MP}}|} \approx \frac{\beta_{\text{эфф}}}{\Delta k_{\text{MP}}} \ll 1$$

Для ИБР-2 мощность фона составляет 5% от средней мощности

Критический режим

Условие равенства генерации ИЗН их распаду дает

$$M \cdot S \cdot \beta_{\text{эфф}} = S \cdot T_p$$

Критическое условие для импульсного реактора

$$\boxed{\frac{M \cdot \beta_{\text{эфф}}}{T_p} = k_{\text{и}} = 1}$$

Кинетика реактора ИБР-2

$$P = \frac{k_{\text{и}} - 1}{k_{\text{и}}} \approx 1 - \frac{T_p}{M \cdot \beta_{\text{эфф}}} \quad \text{Импульсная реактивность}$$

Увеличение энергии импульса

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{1 - P} \approx 1 + P \quad P \approx 1 - \exp\left(-\frac{\Delta\varepsilon}{\beta_{\text{и}}}\right) \approx \frac{\Delta\varepsilon}{\beta_{\text{и}}}$$

Период разгона

$$W(t) = W(0) \cdot \exp\left[\frac{\Delta\varepsilon}{\tau_z \cdot \beta_u} \cdot t\right]$$

$$T = \frac{\tau_z \cdot \beta_u}{\Delta\varepsilon}$$

Здесь

$$\beta_{\text{и}} = \frac{M(\varepsilon_{\text{мо}})}{\left.\frac{\partial M}{\partial \varepsilon}\right|_{\varepsilon=\varepsilon_{\text{мо}}}}$$

импульсная доля
запаздывающих нейтронов

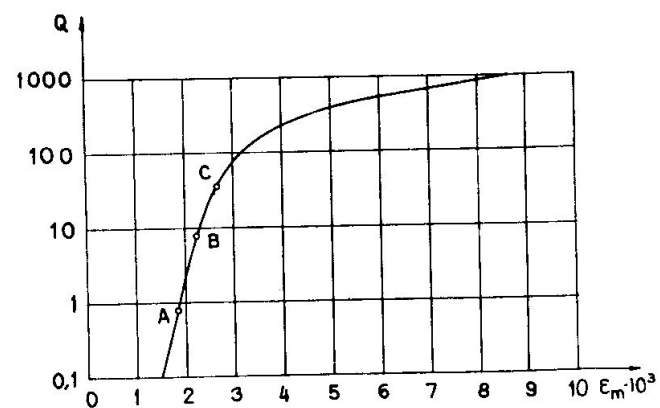
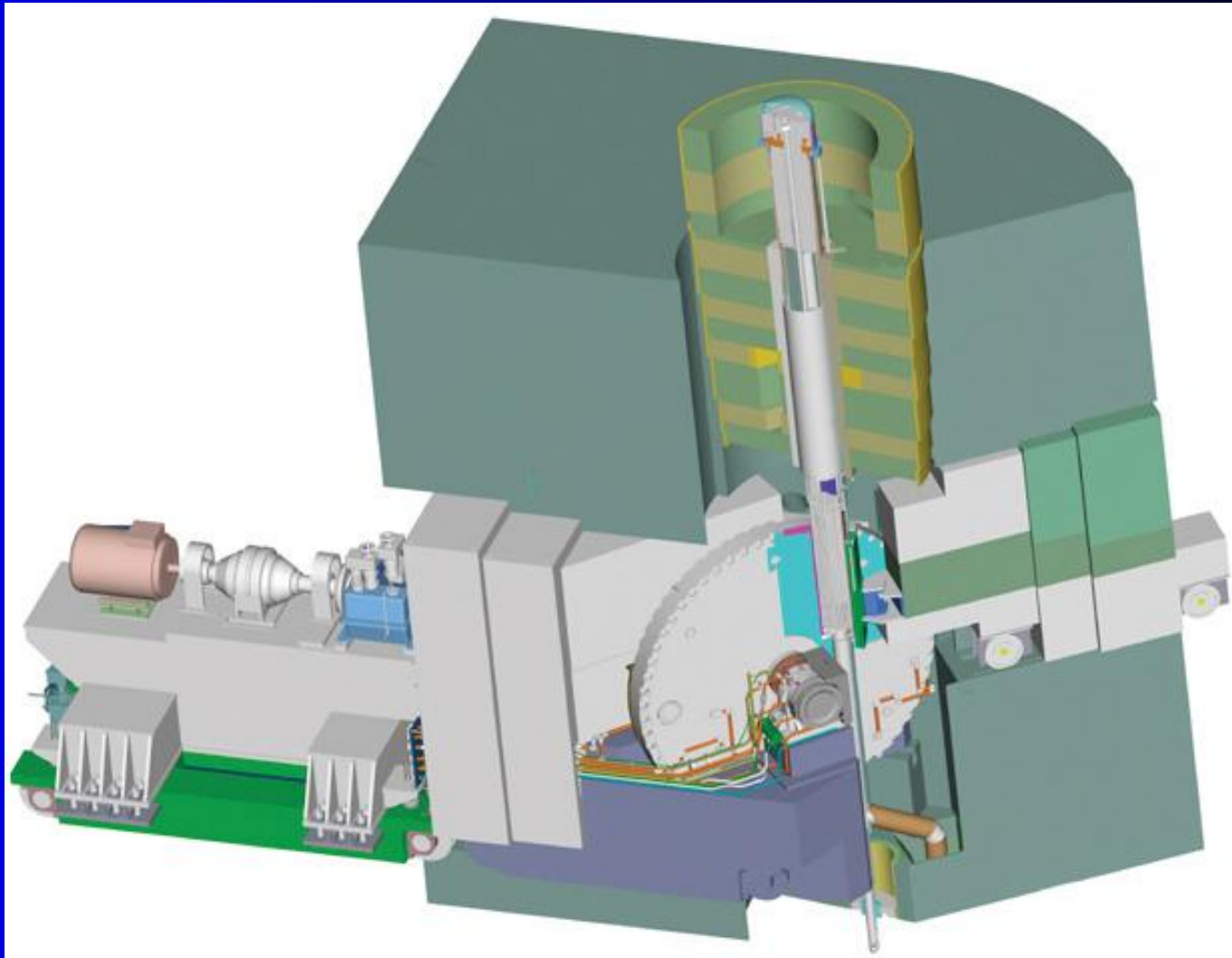
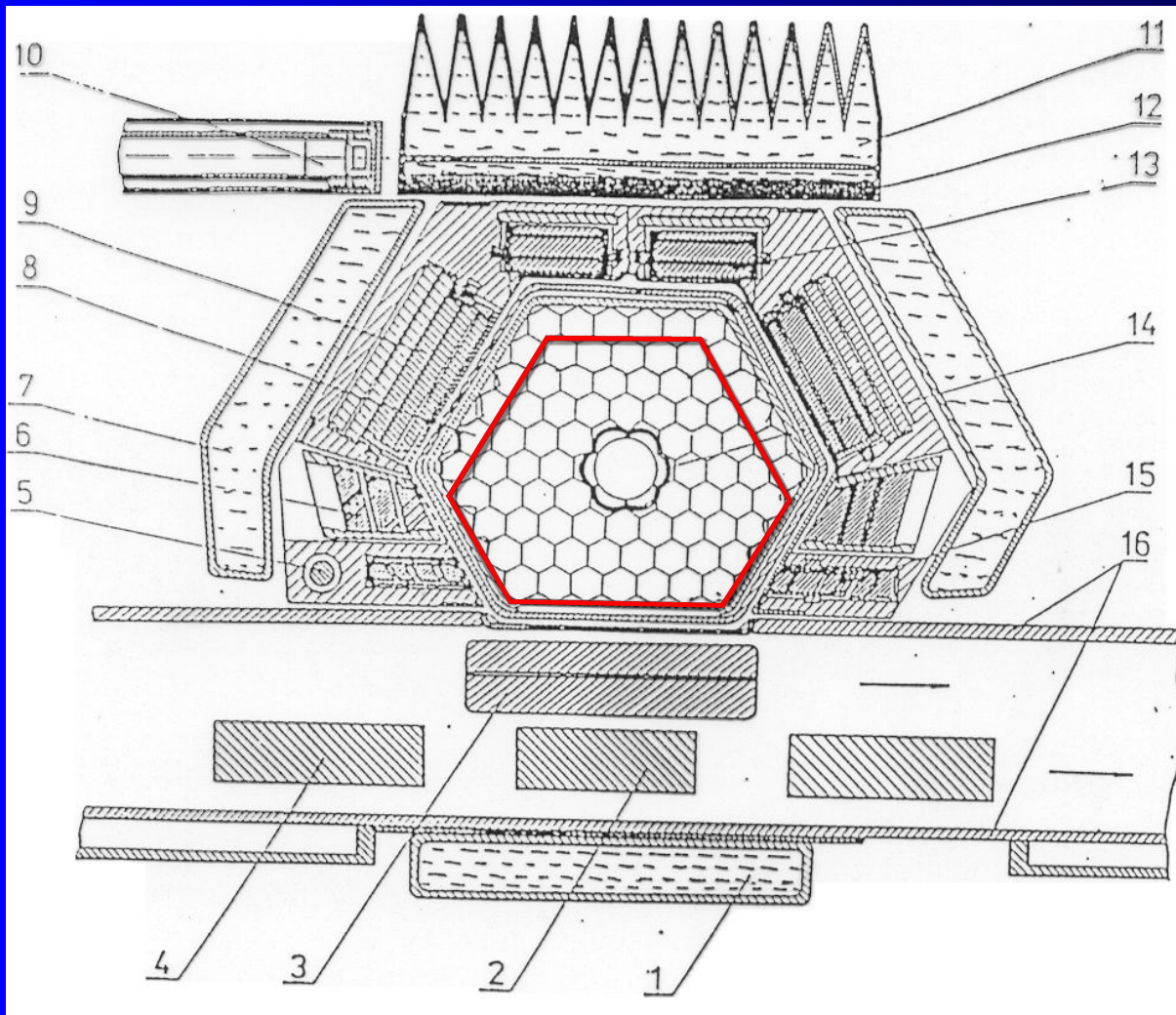


Рис. II. Зависимость энергии импульсов мощности ИБРа-2
 (Q , МДж) от максимальной реактивности (ϵ_m) ;
 пояснения-в тексте.

IBR-2 main construction



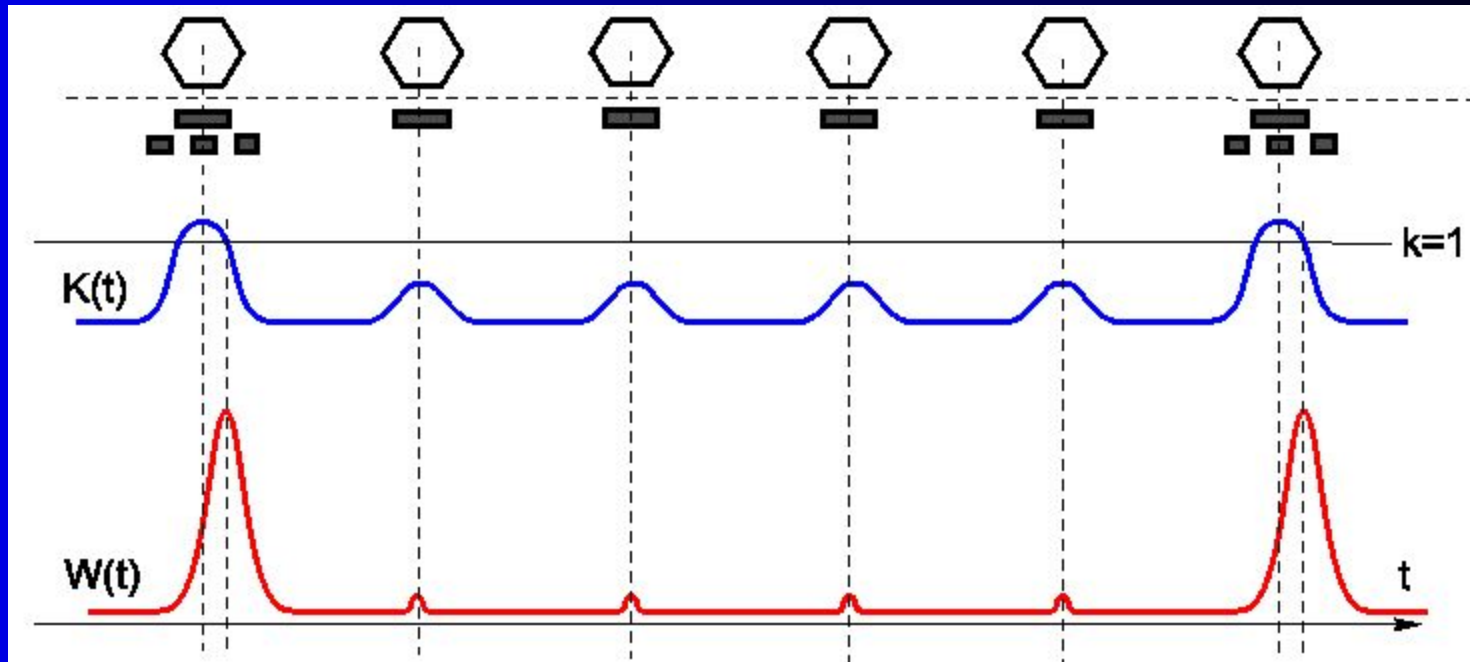
The central part of the IBR-2 reactor (lay-out)



- 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.

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

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

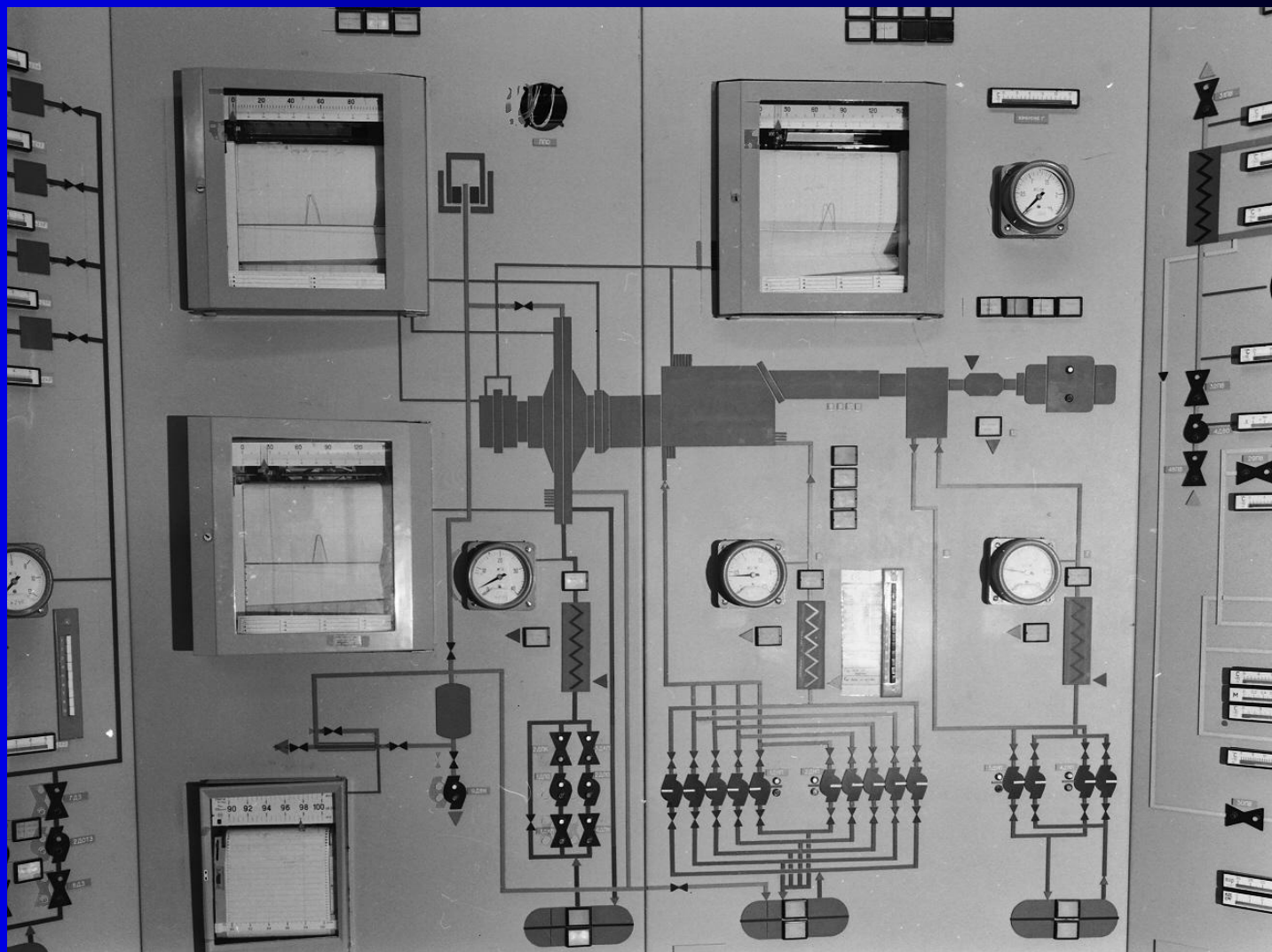
Логарифмический канал

- 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/см²·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%

Мнемосхема технологической части ПО на щите оператора



Пульт
управления реактором



Здание реактора ИБР-2

