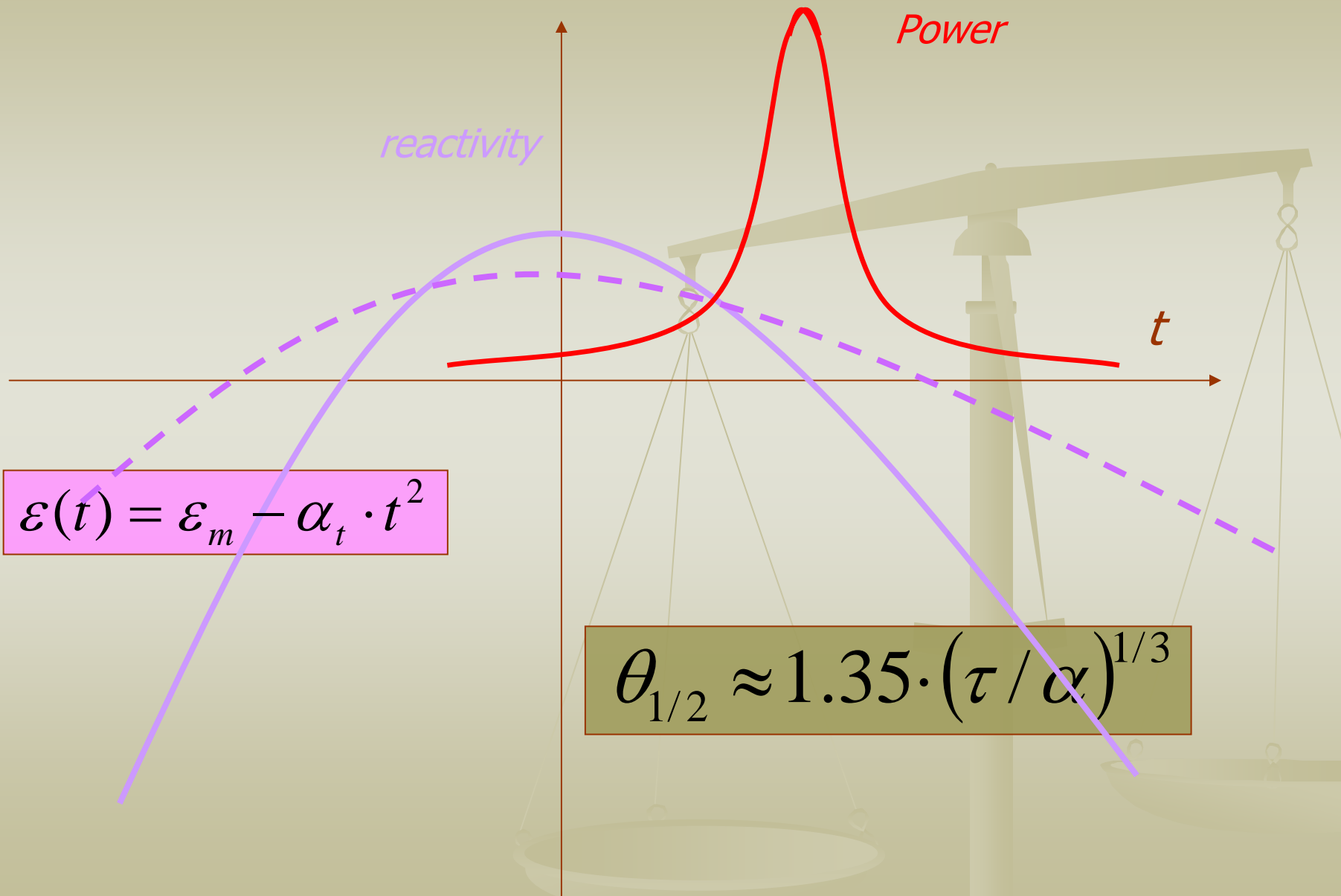


**Импульсный
исследовательский реактор
периодического действия
ИБР-2**

Е.П. Шабалин

- Импульсный реактор периодического действия, или пульсирующий реактор (общепринятая аббревиатура ИБР) – это реактор на быстрых нейтронах, работающий в режиме периодически и часто повторяющихся импульсов мощности /1,2/.
- Отличительная особенность ИБРов – наличие механического модулятора реактивности, который, в отличие от пусковых устройств реакторов самогасящихся, или аperiodических /Колесов, Леваков/, обеспечивает *циклический* процесс глубокого изменения реактивности в течение неограниченного времени.
- Один раз за цикл длительностью от 0.01 до 10 секунд реактор на время менее одной миллисекунды переводится из состояния глубокой подкритичности (3-5% кэфф) в надкритическое состояние на мгновенных нейтронах. Это создает импульс мощности длительностью 40-240 мкс при незначительном фоне между импульсами (4-8% от средней мощности).

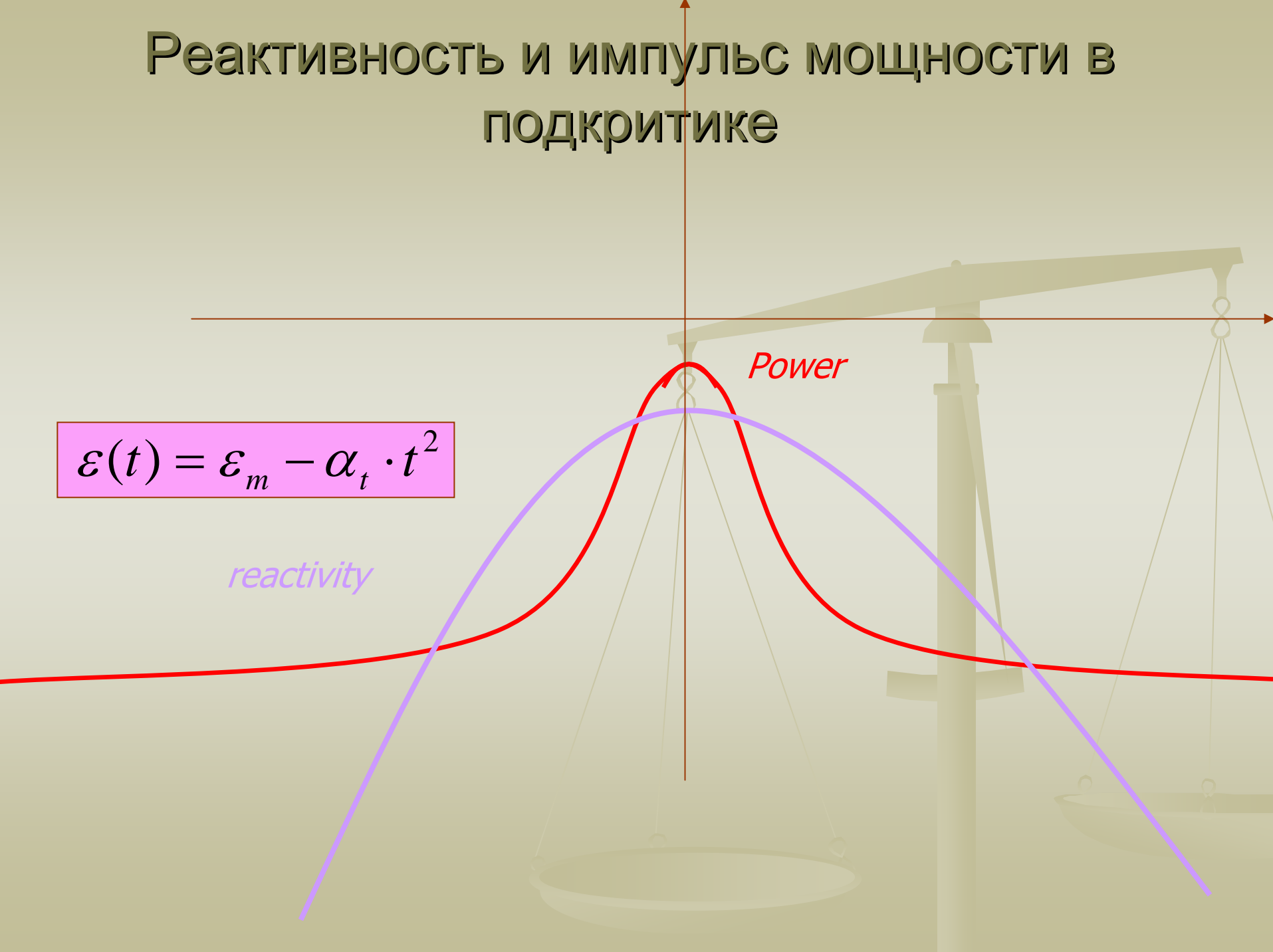


Реактивность и импульс мощности в подкритике

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_m - \alpha_t \cdot t^2$$

reactivity

Power



- Известно немало предложенных разных типов модуляции реактивности и конструкций модуляторов: подвижные вкладыши урана (ИБР-1), использование влияния магнитного поля на перенос нейтронов (В.В. Орлов), изменение степени гетерогенности активной зоны, движение частей активной зоны под действием тепловых ударов, быстрое движение «пуль» из пластика сквозь реактор (УАУОІ) и т.д.

- Практически приемлемым модулятором реактивности для импульсного реактора на быстрых нейтронах оказался *подвижный вращающийся отражатель* (ПО) с горизонтальной осью вращения. Д.И. Блохинцев в свое время настоял именно на принципе вращения, а не поступательного движения, и правильность такого решения была подтверждена 20-летней успешной работой реактора ИБР-2

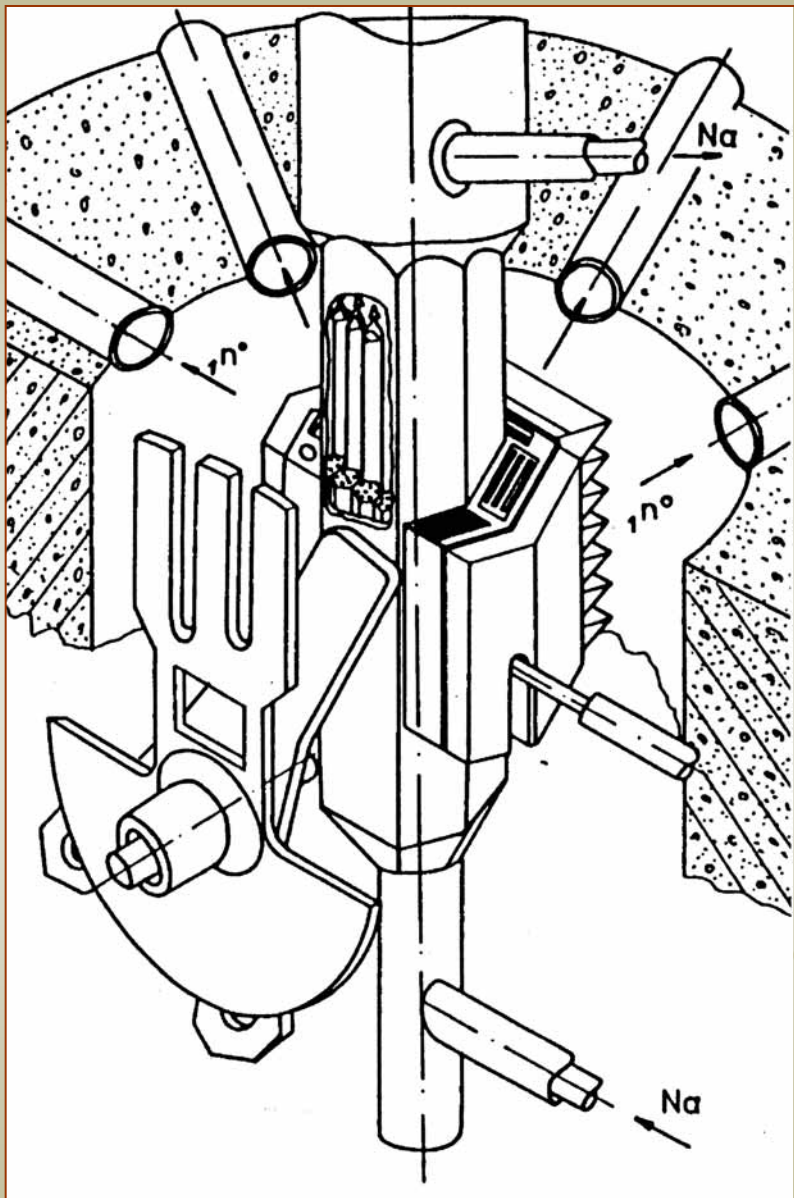
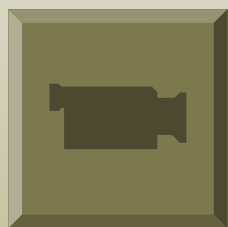
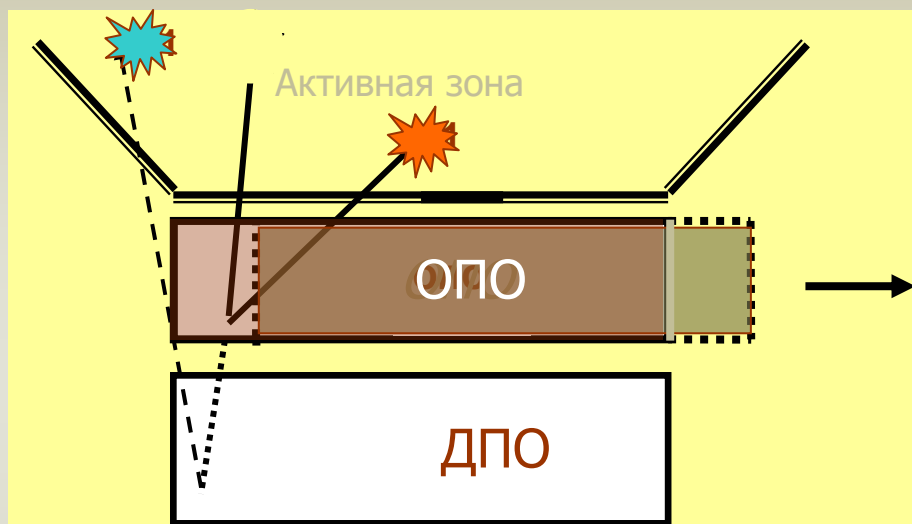
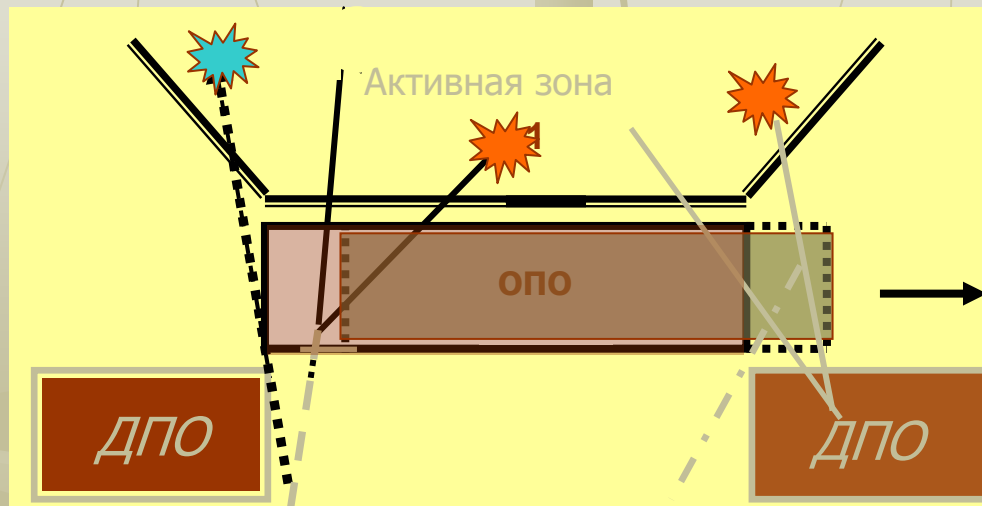


Схема реактора ИБР-2 с модулятором реактивности в виде двух подвижных отражателей: основного (ближний к активной зоне реактора) и дополнительного «трезубца».

Примеры траекторий нейтрона до смещения ОПО (сплошные линии) и после смещения (пунктир)



демонстрация



Краткая история ИБРов



- История началась в Обнинске в 1955 г., на семинаре, где Д.И.Блохинцев изложил свою идею пульсирующего реактора.

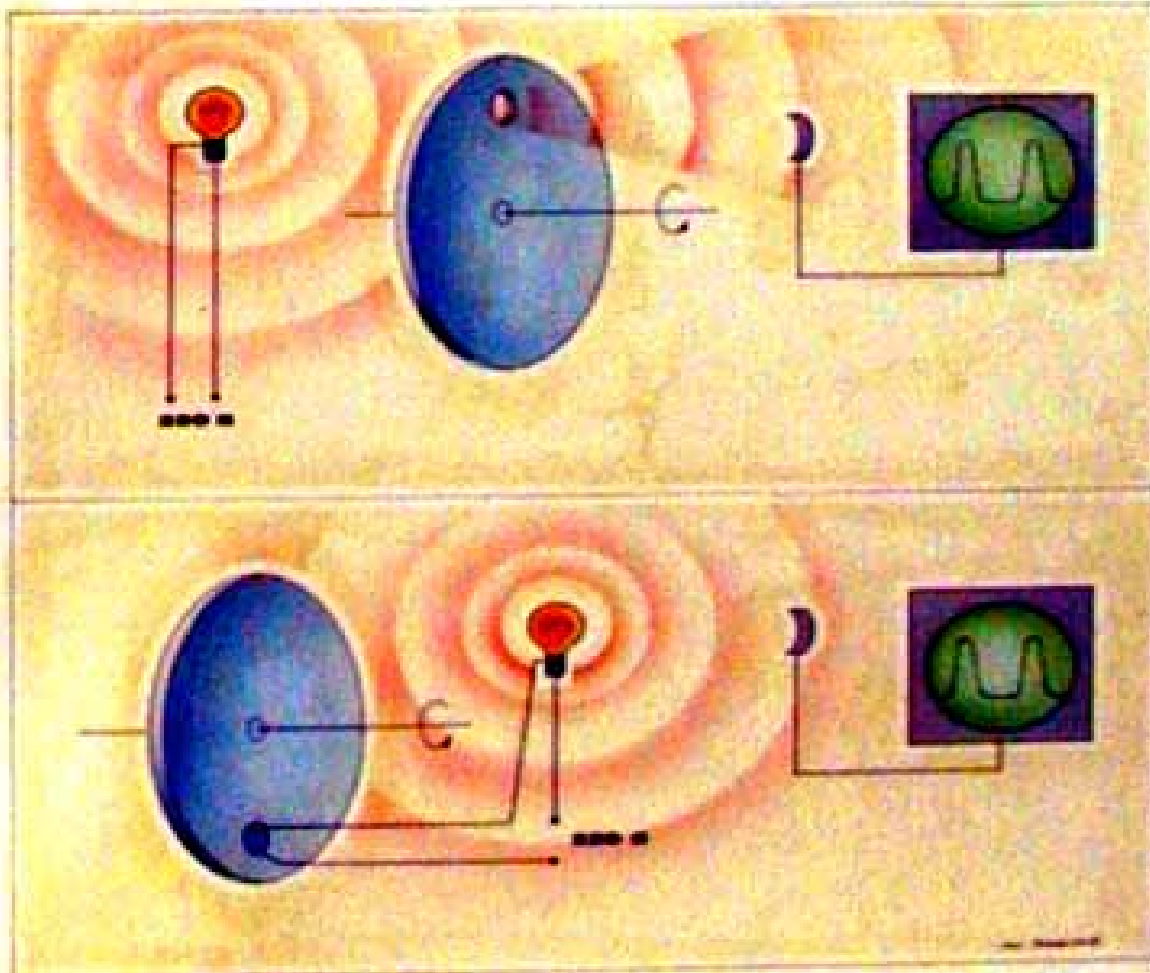
Наглядная иллюстрация идеи по Блохинцеву (“для высокого начальства”)

Схема, иллюстрирующая принципы создания импульсного излучения

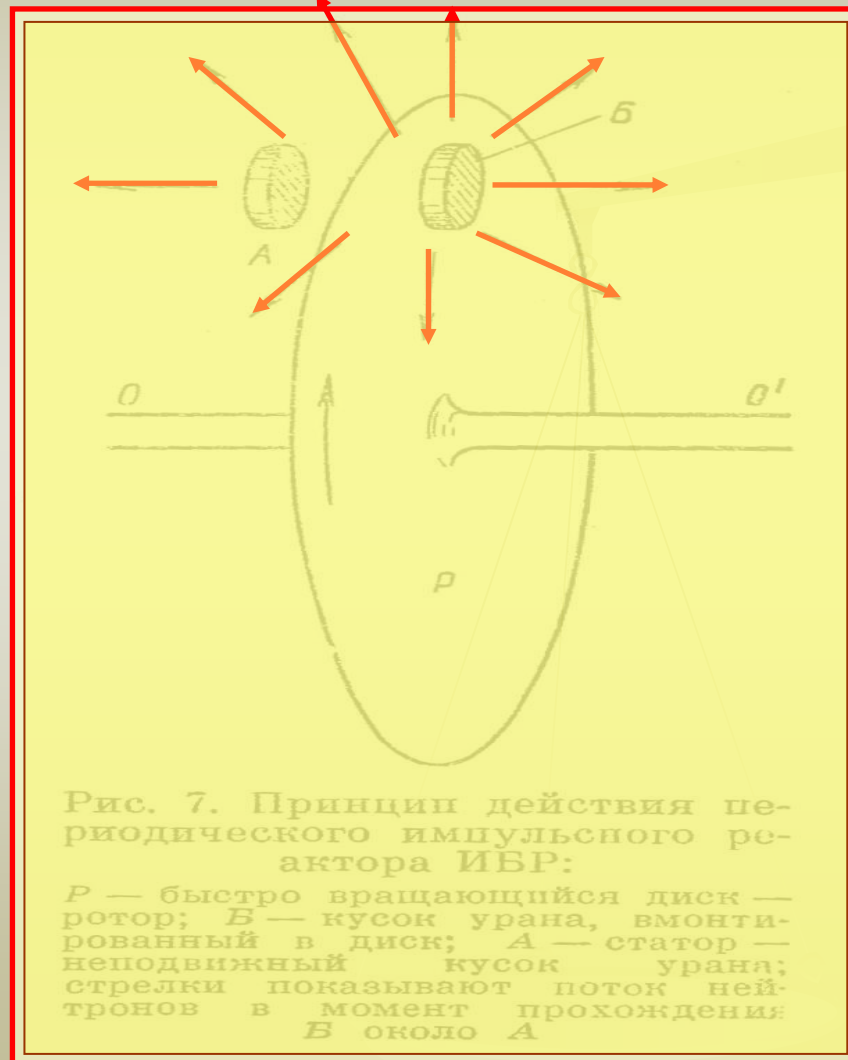
The scheme illustrates the principle of generating pulsed radiation

"The diagram demonstrates the principle of generating pulsed radiation"

"This is done by means of exciting a pulsed source that is the period or higher officials in the early days."



Идея пульсирующего реактора по Блохинцеву:



Авторы теории ИБРа –
Игорь Ильич Бондаренко
и Юрий Яковлевич Стависский.

- Теория ИБРа была создана ими в 1956 году (опубликована в 1959 г./*Бондаренко*/) и развита в дальнейшем *Шабалиным, Говорковым, Asaoka, Larrimore, Blaeser, Schwalm, Козиком.*

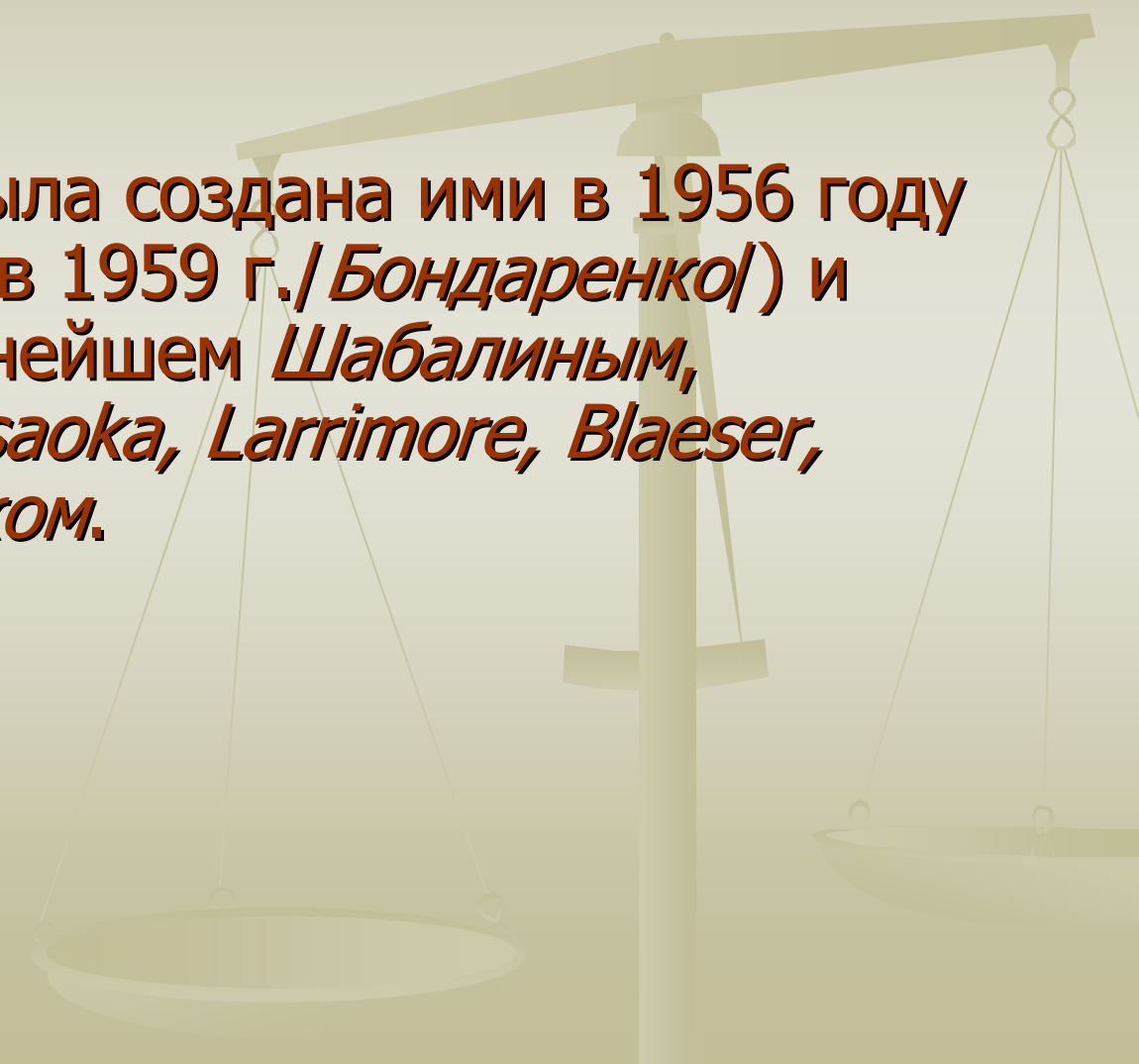
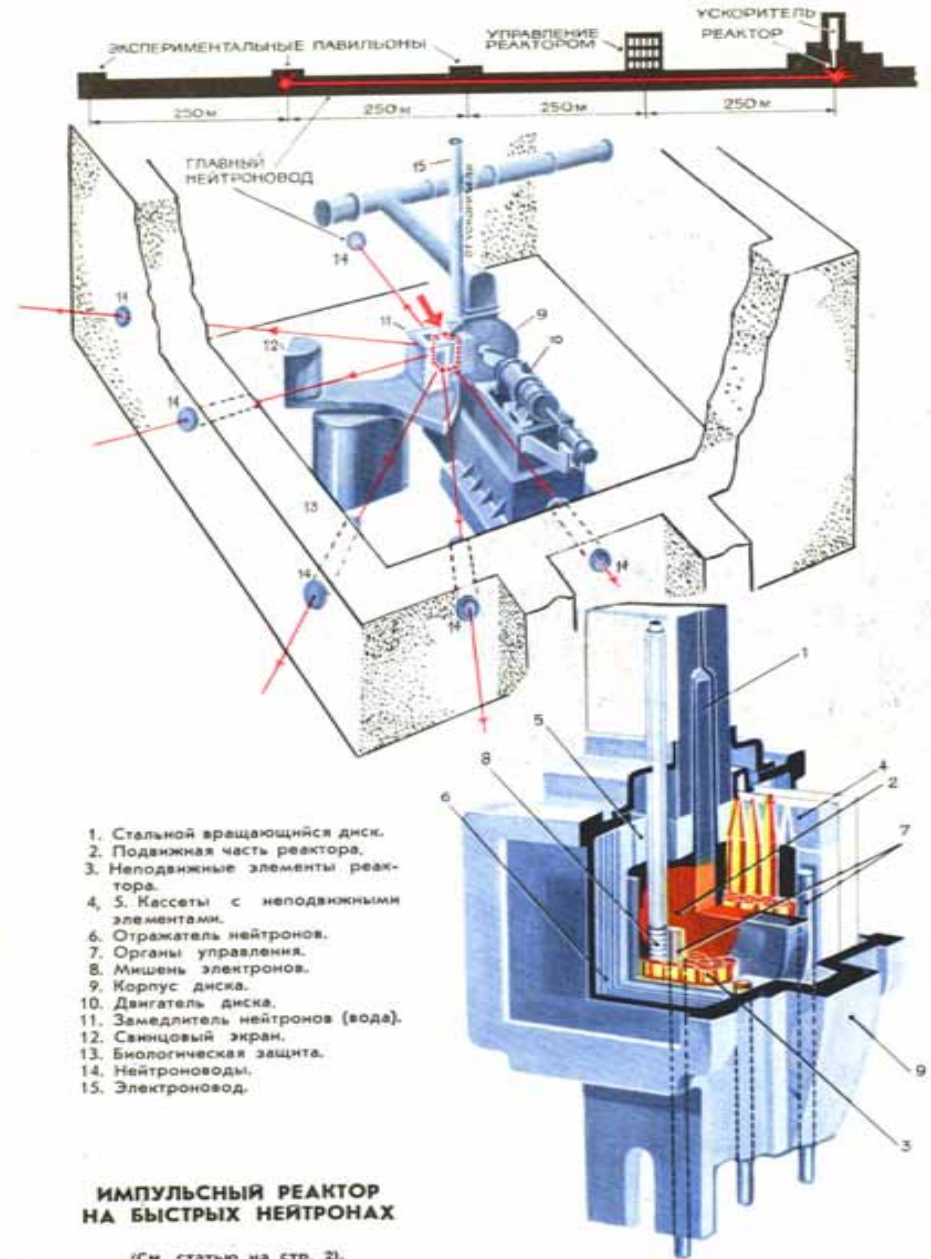
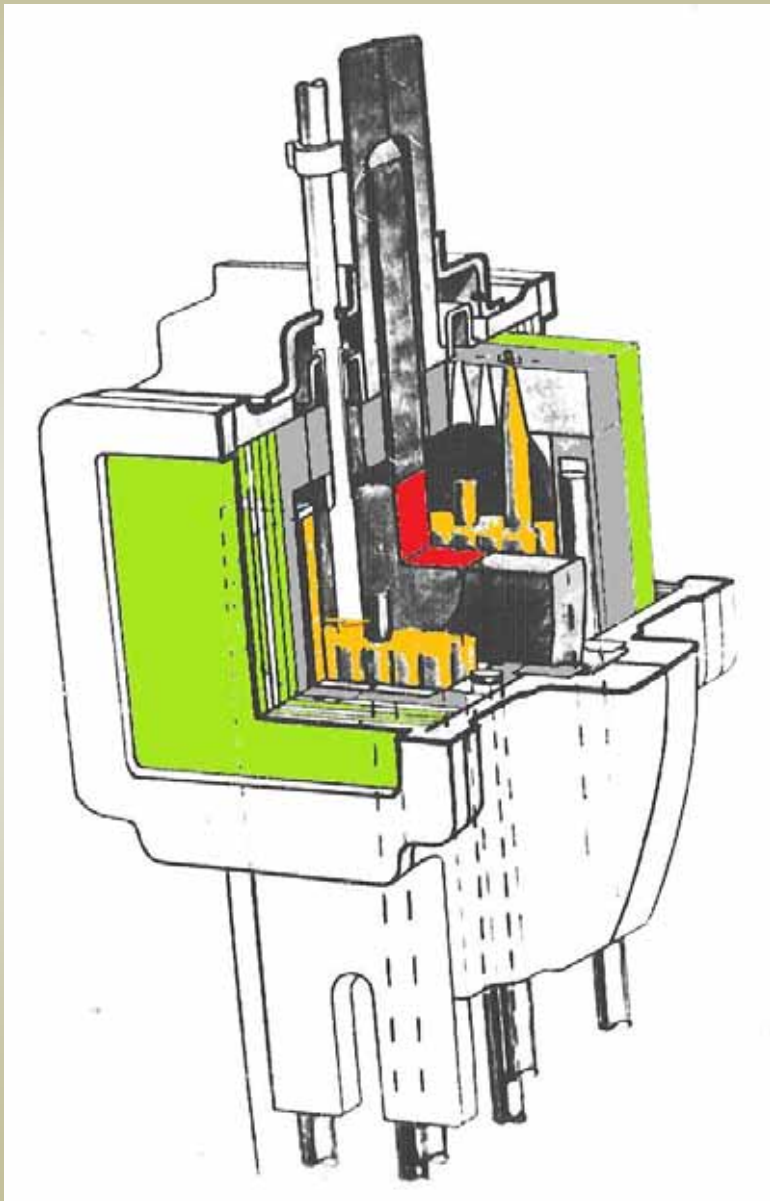
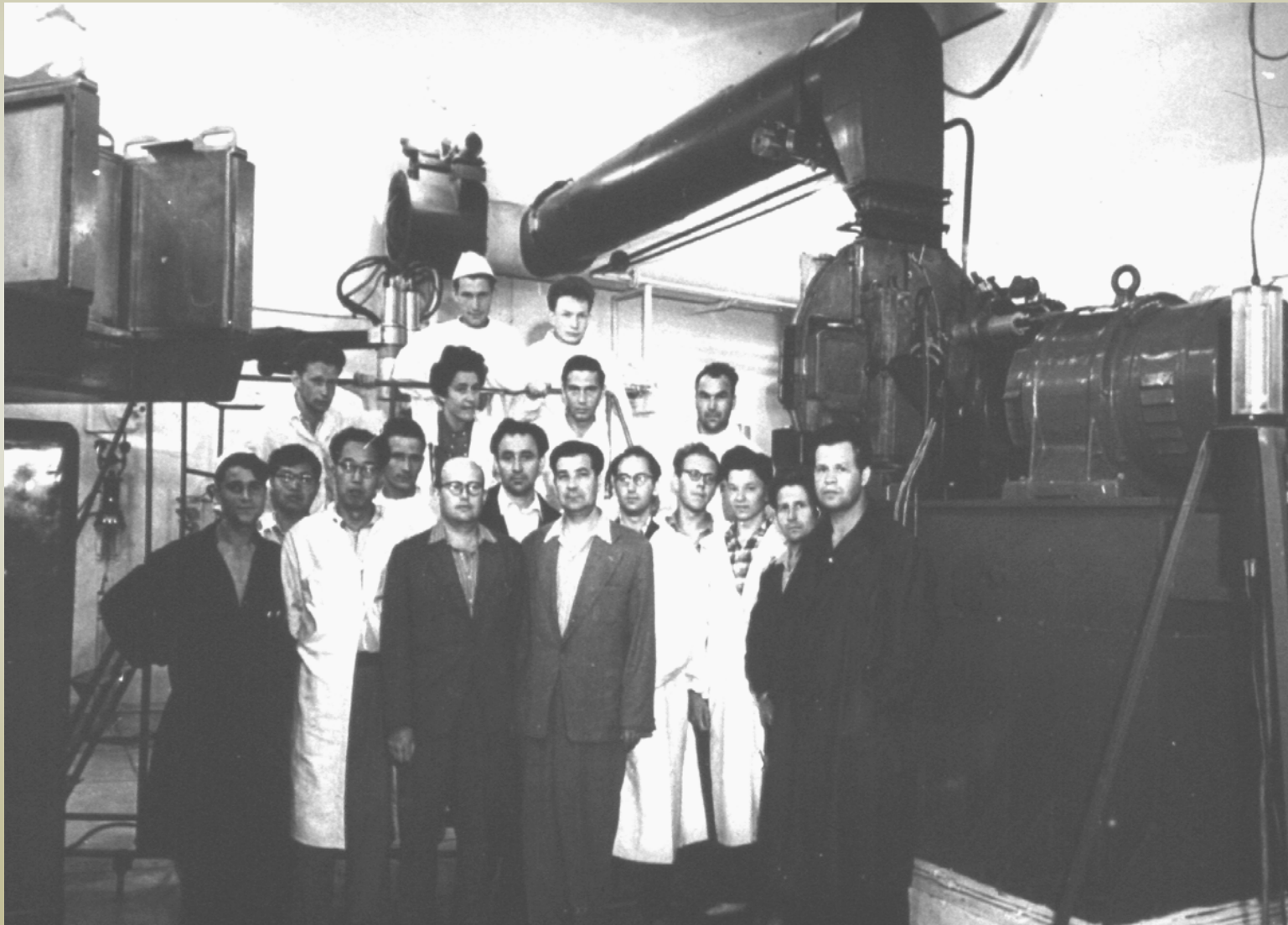


Схема первого в мире реактора, пульсирующего на быстрых нейтронах – ИБР:

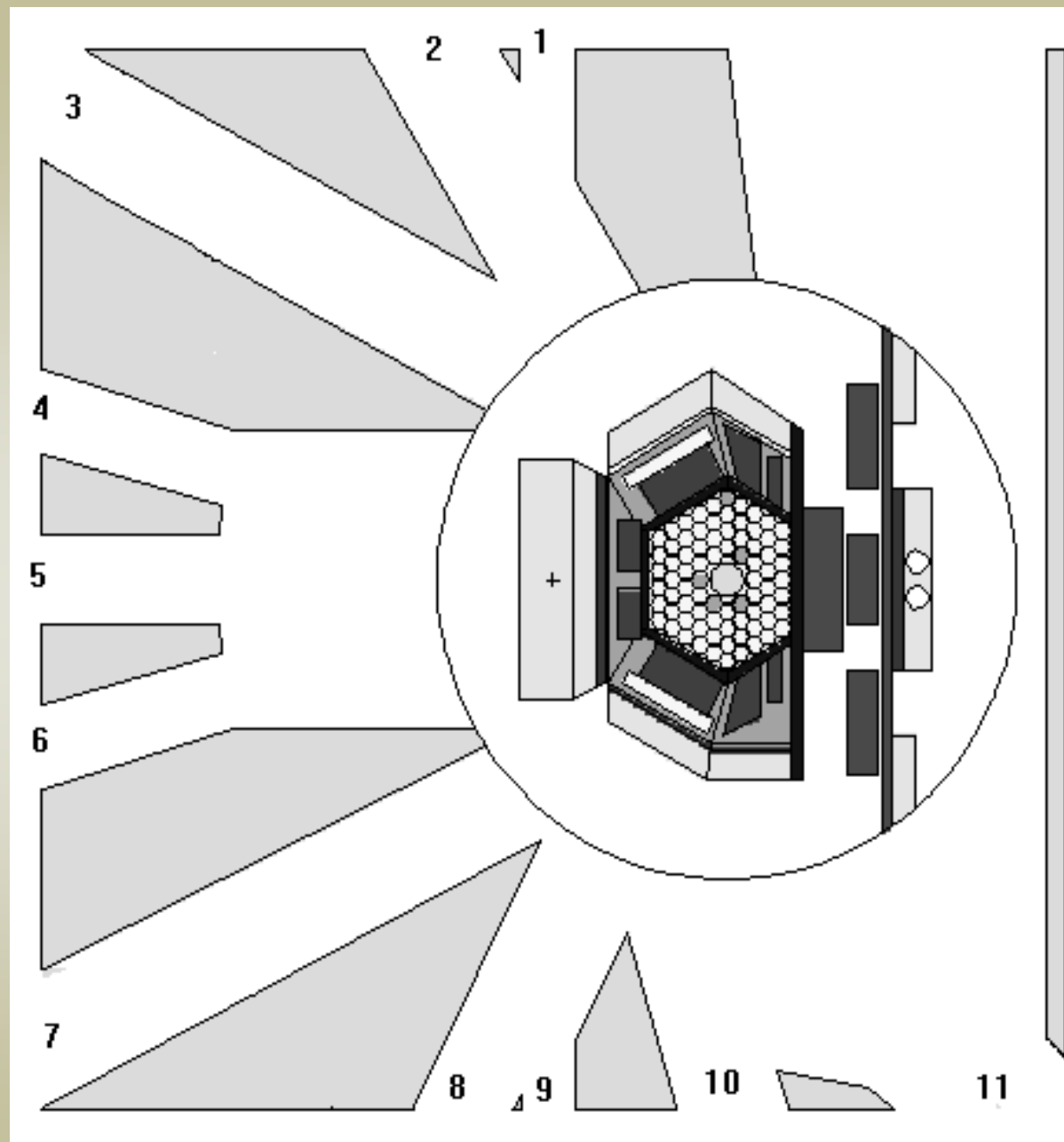


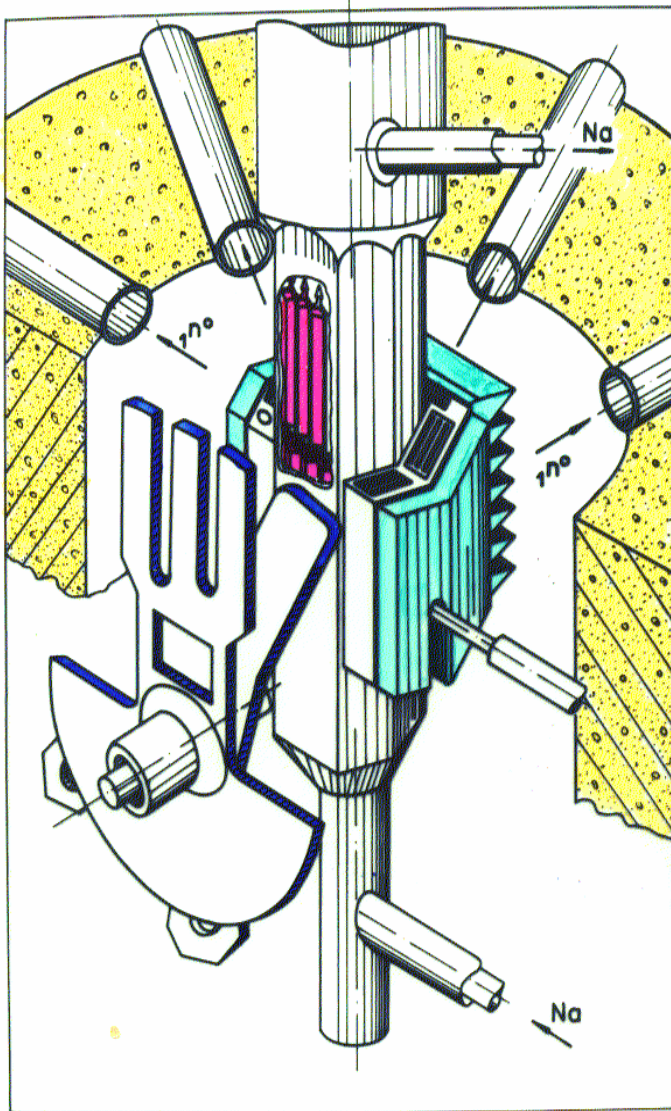


Группа участников пуска первого ИБР в
зале реактора, июнь 1960 г.
Фото П. Зольникова



Реактор ИБР-2 с пучками



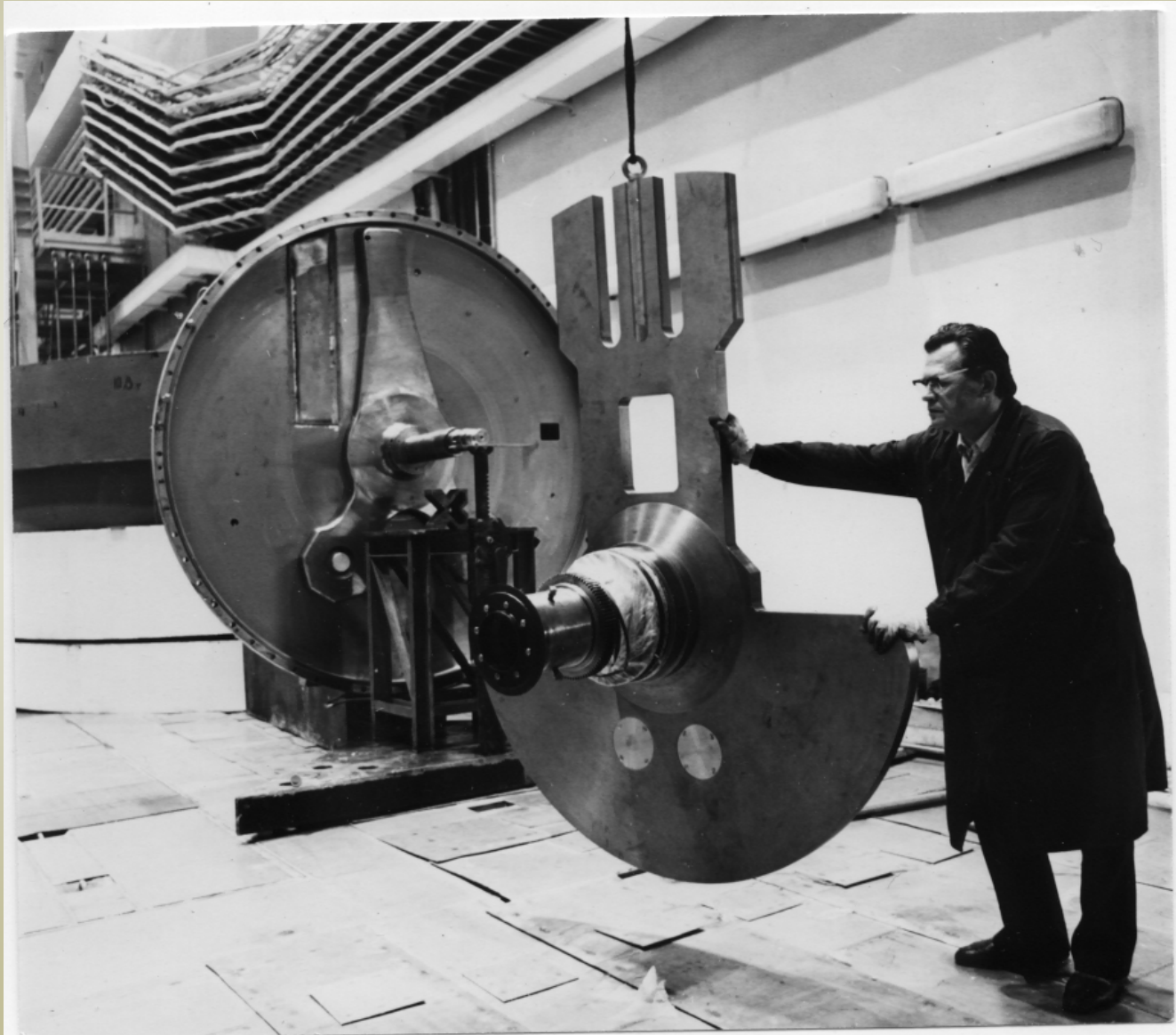


- Схема реактора ИБР-2 с модулятором реактивности в виде двух подвижных отражателей: основного (ближний к активной зоне реактора) и дополнительного «трезубца».

- Пробная частица для изучения структуры и динамики вещества – это тепловой нейтрон, время диффузии которого в водородосодержащих веществах внешнего замедлителя быстрых нейтронов 100-200 мкс. Поэтому желательная длительность импульса быстрых нейтронов реактора – около 100 мкс. История модуляторов реактивности ИБРов – это история борьбы за более короткий импульс мощности.

Модулятор реактивности характеризуется следующими параметрами:






- *Глубиной модуляции реактивности;*
- *Частотой повторения импульсов;*
- *Числом и амплитудой побочных импульсов («сателлитов») на один основной (при наличии более одного модулирующего элемента);*
- *Скоростью изменения реактивности при формировании импульса мощности.*



ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМЫ РОТОРОВ

подвижного

отражателя

Название: Name of version		Недостаток: Deficiency
1. Первый проектный вариант "Молния", 1967 - 1972 Исполнители: Б.С.Евдокимов		большая длина, сложная конструкция
2. "Диск", 1972 - 1978 2007	 	очень длинный металл высокая цена
 3. "Труба", 1980 - 1985 "Тудин", ПО-1		длинный металл; плохая радиационная стойкость высокая цена bad materials for radiation
4. ПО-2, 1987 - 1994 ПО-2Р 1995	 	длинный металл; высокая цена bad materials
 5. Модернизация "тетраэдричного типа" ПО-3 (уровень) Модернизация и изготовление ПО-3 (уровень)		сложность изготовления длина выводов



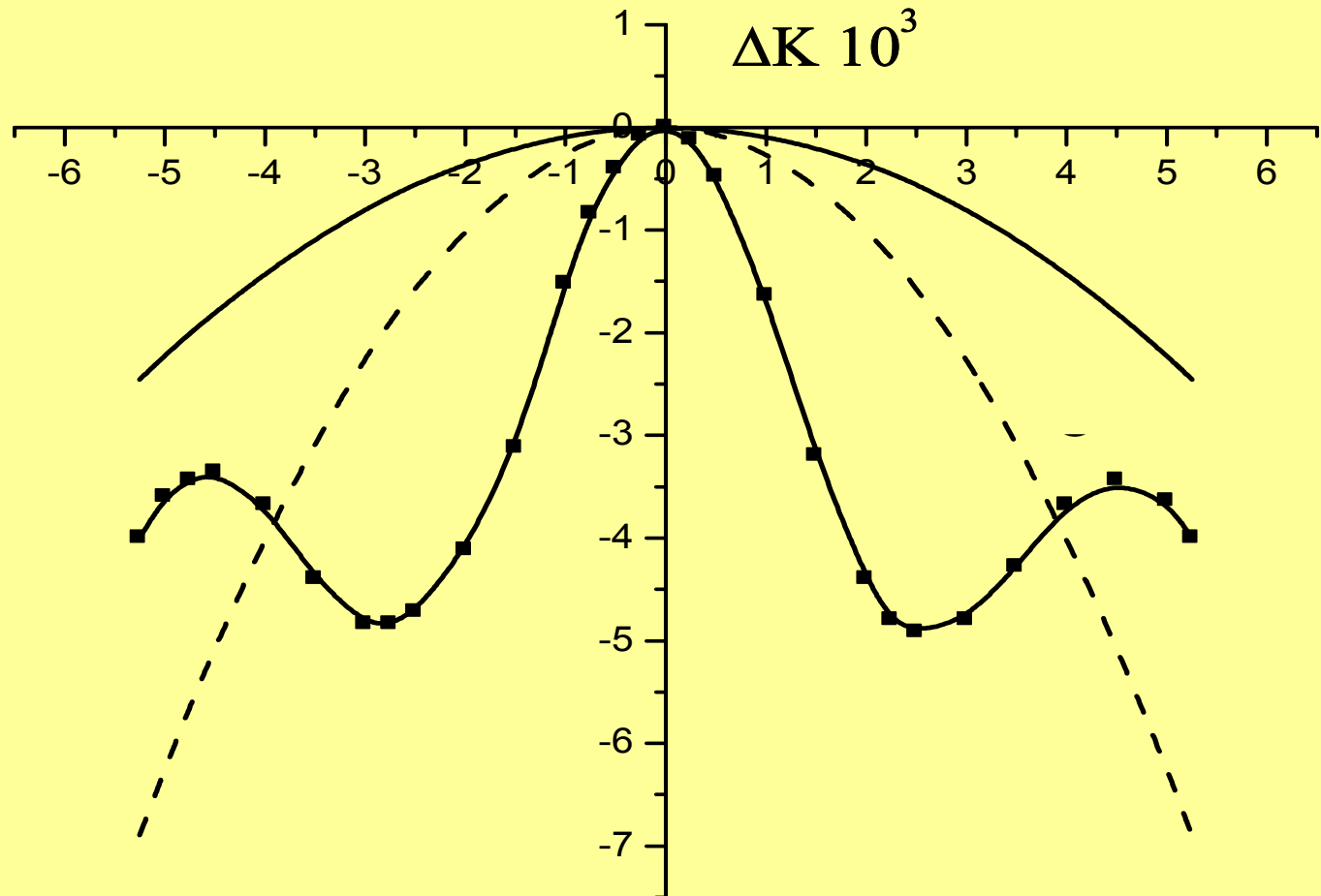
Подвижный отражатель
решетчатого типа для
ИБР-2 и ИБР-2М
(установлен на ИБР-2 в
2004 г.)
Конструктор - НИКИЭТ



Ход реактивности при смещении ОПО.

Сплошная кривая – ДПО в виде блока, пунктир – ДПО «трезубец»
квадраты – решетчатые ОПО и ДПО;

смещение – в градусах, реактивность – в долях $K_{эфф}$



$\gamma = \frac{2\pi \cdot v}{L} \cdot \Delta K$ Модуляция реактивности имеет квазигармонический вид с периодом, равным L/v , где L – шаг решетки, а v – взаимная скорость движения отражателей.

- Кривая реактивности несет несколько максимумов (равное числу зубьев в том отражателе, где их больше). Но амплитуда модуляции в «боковых» пиках быстро уменьшается относительно центрального, наибольшего пика реактивности ввиду конечного размера ПО и активной зоны.
- *Максимальная скорость модуляции реактивности определяется размерами элементов ПО, и, как показали предварительные оценки и последующие эксперименты, значительно выше, чем у «гомогенного» ПО.*

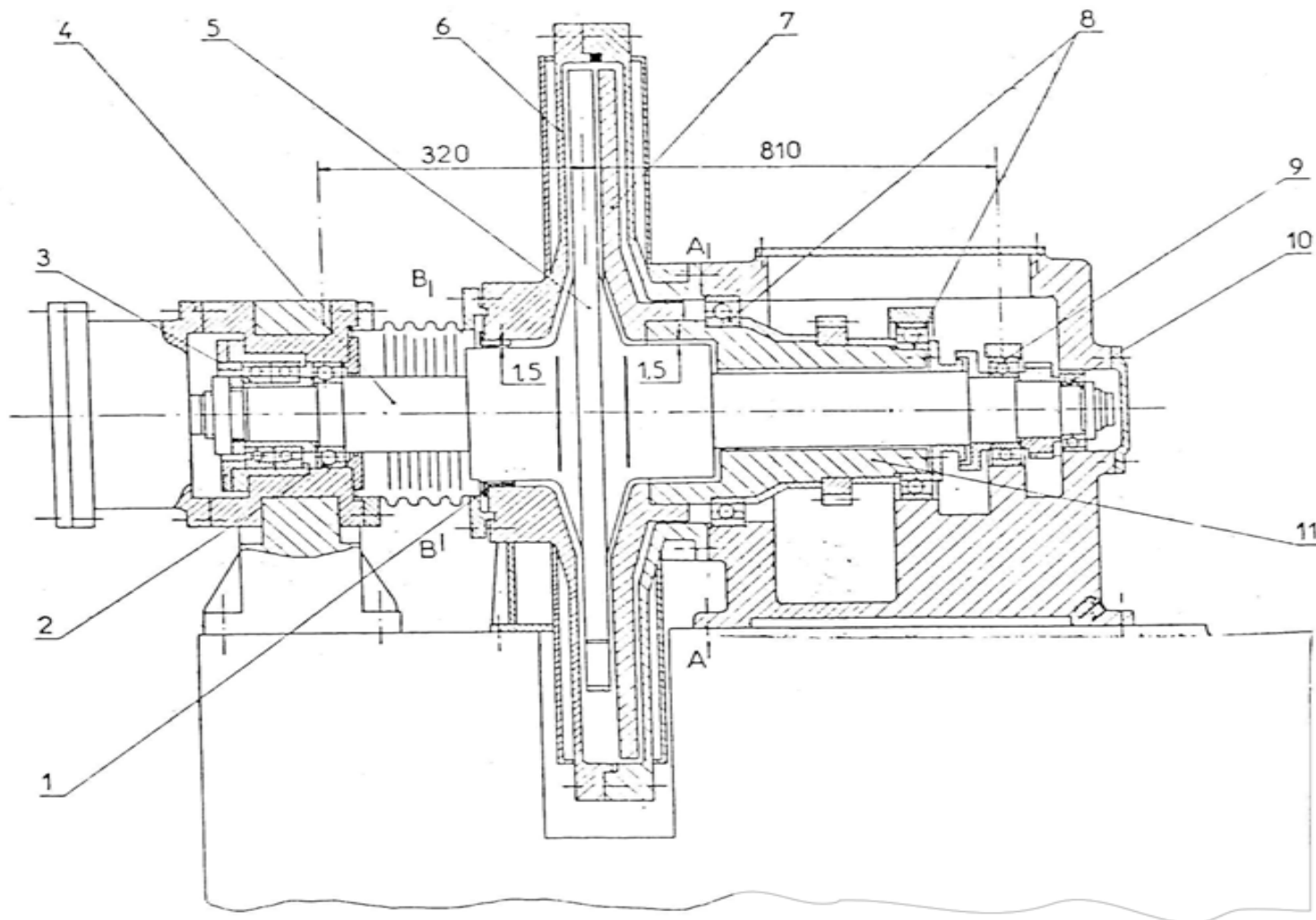
$$\gamma = \frac{2\pi \cdot v}{L} \cdot \Delta K$$

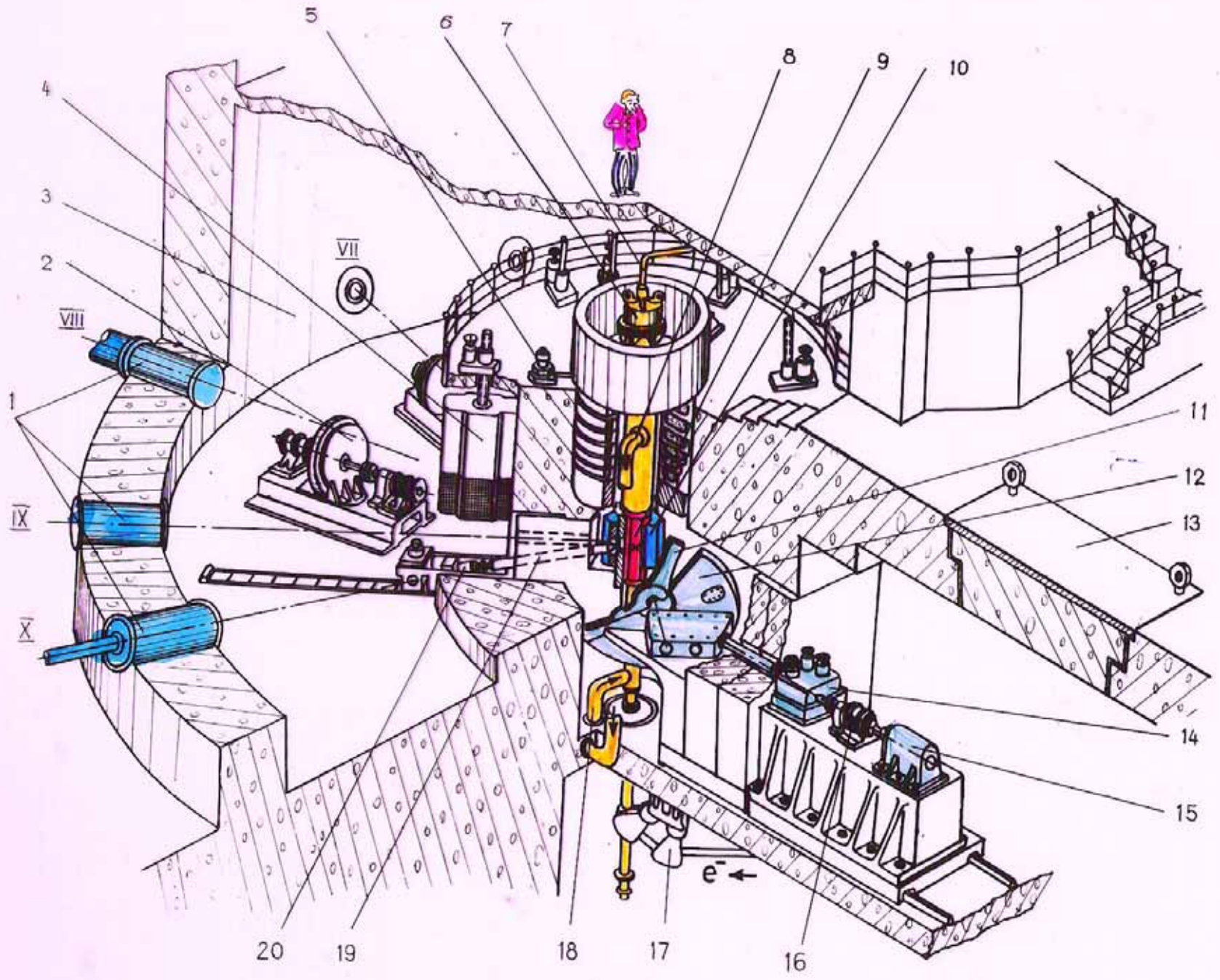
Подвижный
отражатель
решетчатого типа для
ИБР-2 и ИБР-2М
(установлен на ИБР-2
в 2004 г.)

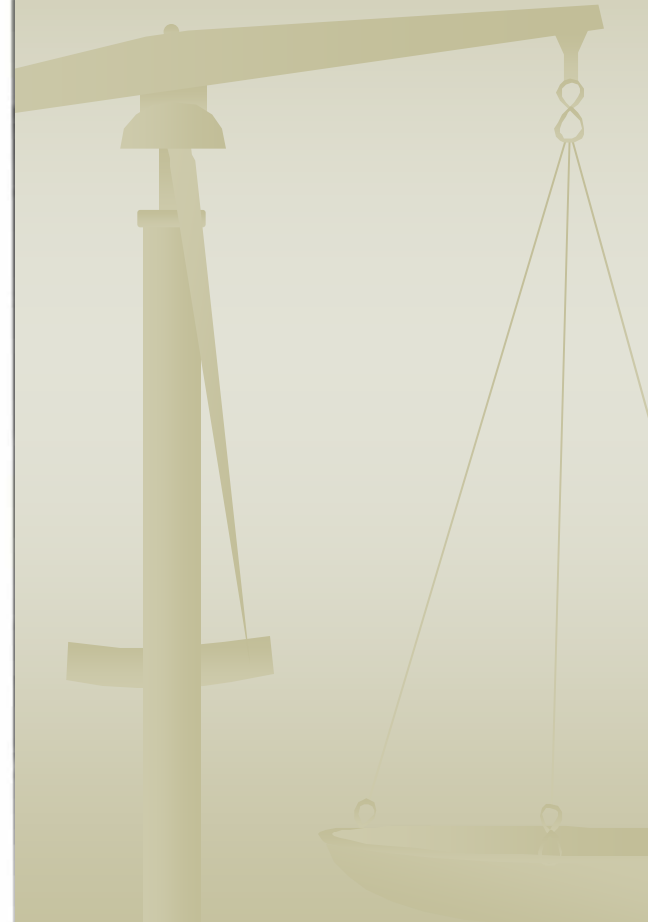
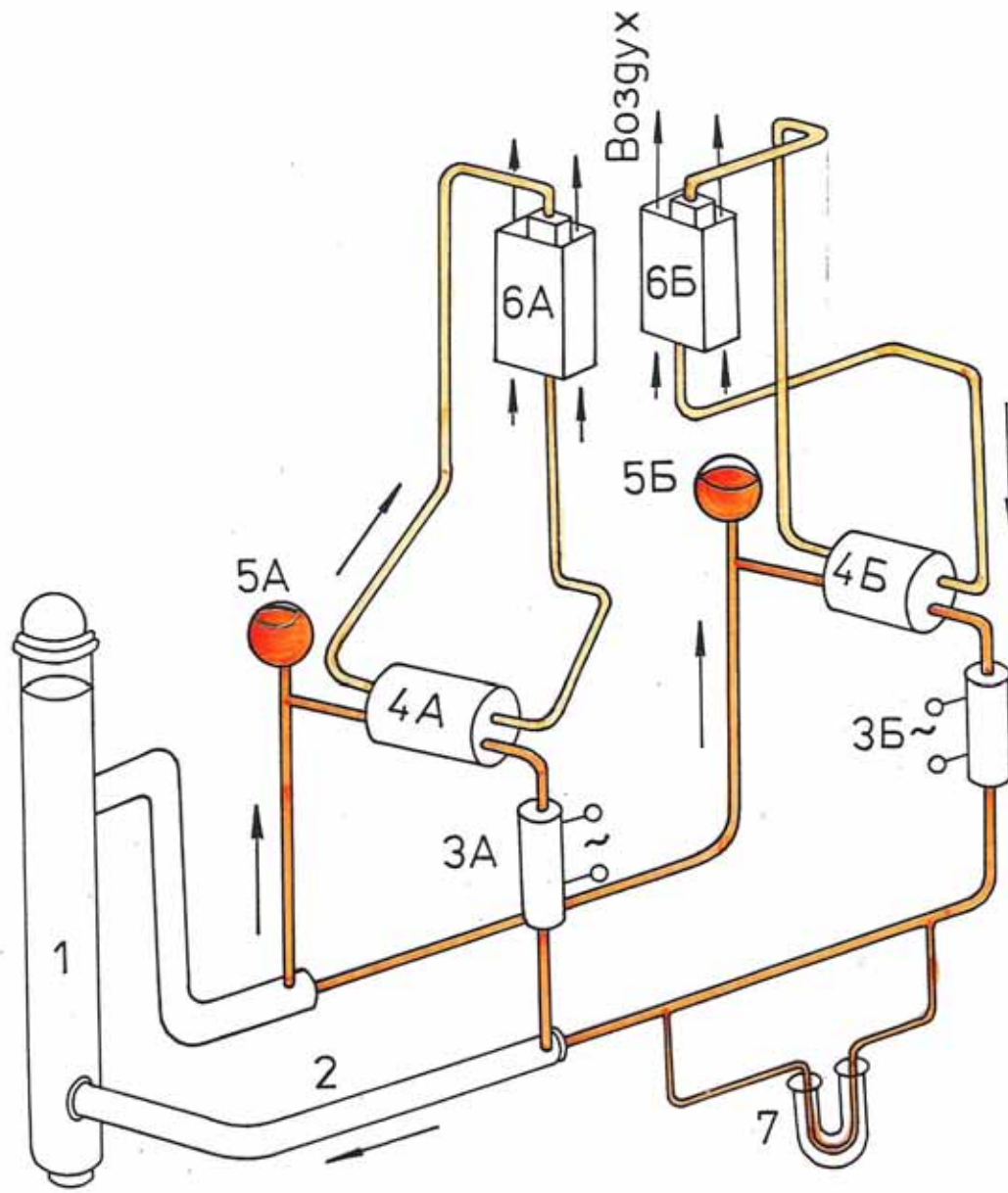
Конструктор - НИКИЭТ



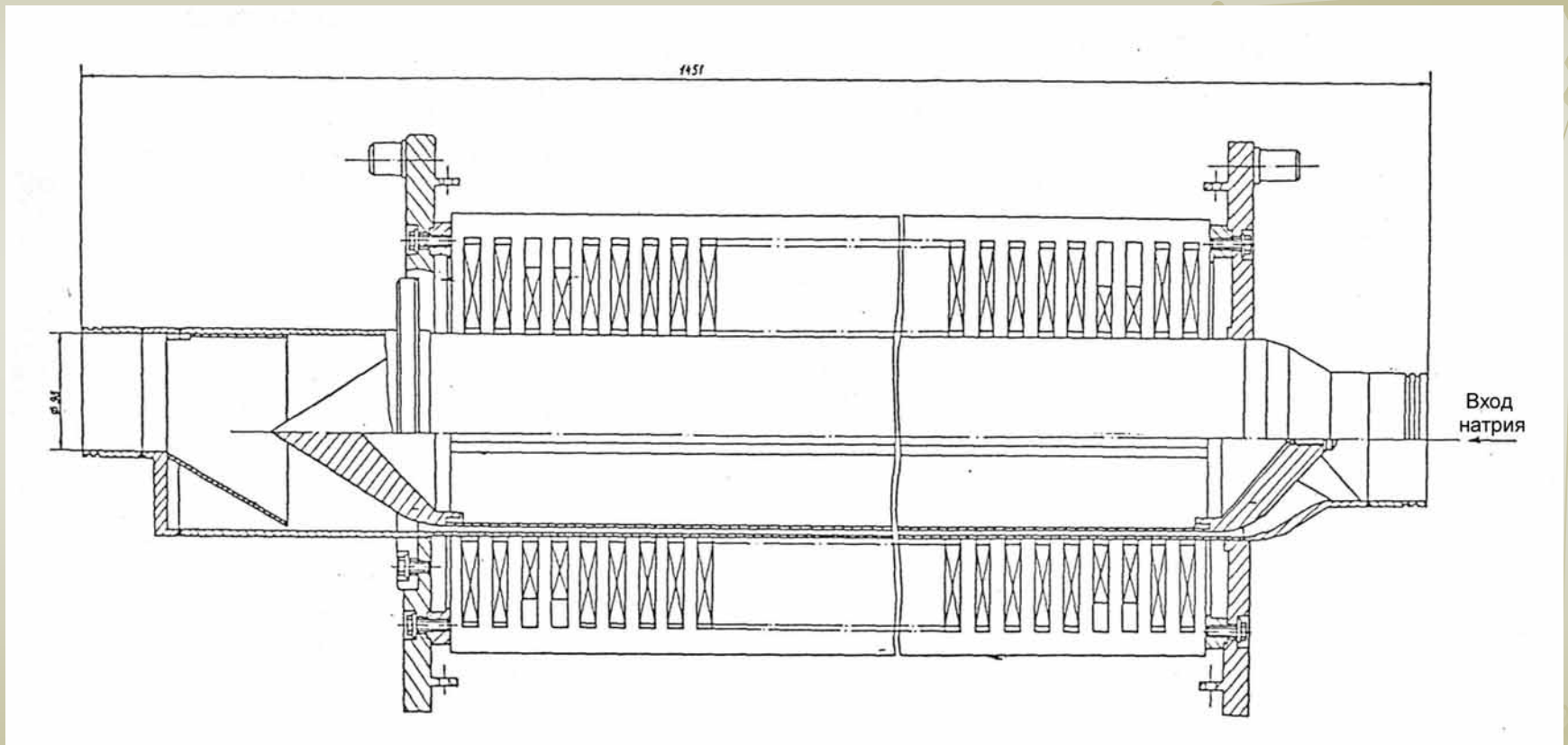
Модулятор реактивности ИБР-2 (вертикальный разрез).

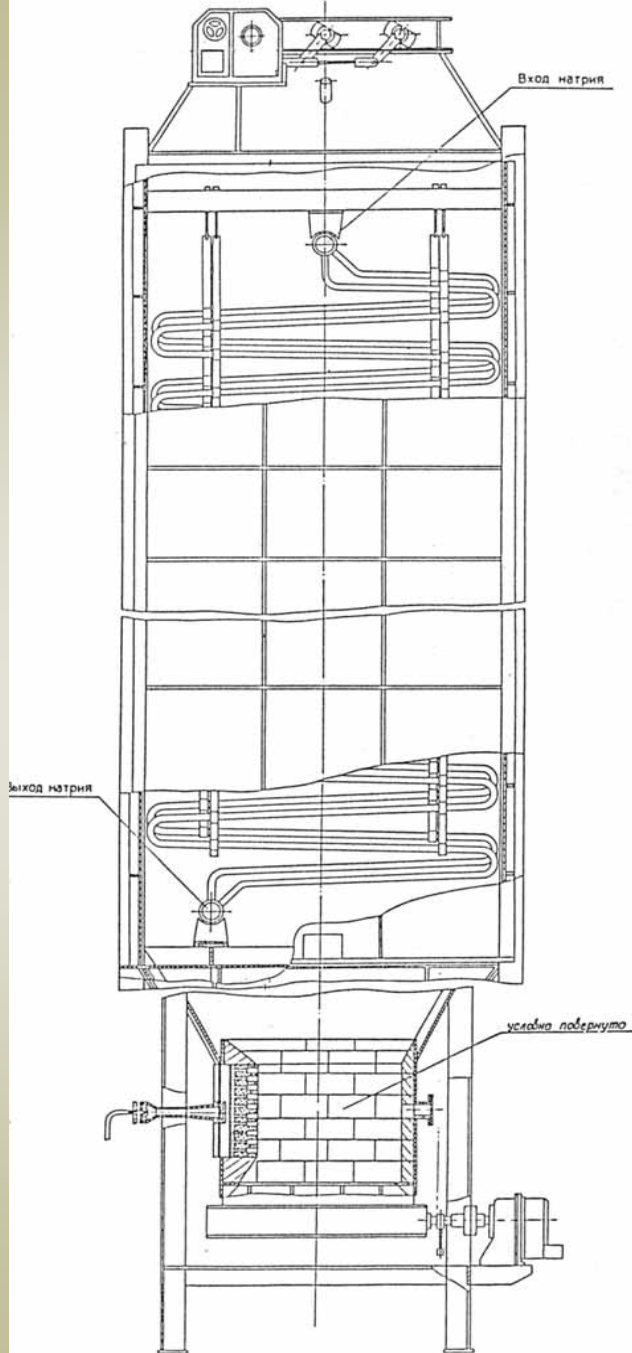






Цилиндрический линейный индукционный насос (ЦЛИН 4/80)







Здание ИБР-2



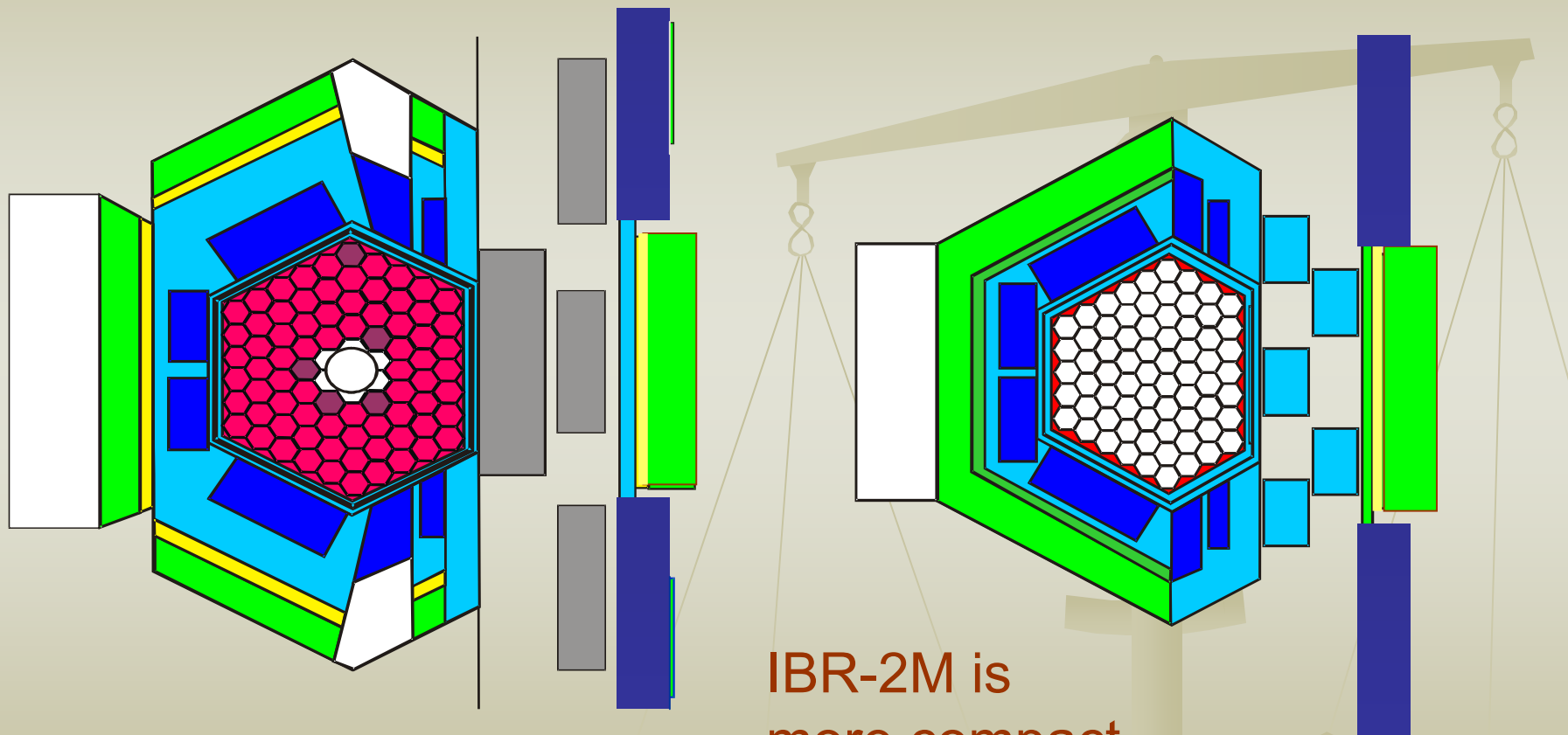
Повышение безопасности и эксплуатационной надежности реактора достигается следующим образом:

- снижением скорости модуляторов реактивности в ПО-3,
- использованием втулочных ТВЭЛ,
- применением дизель-генератора для электроснабжения реактора
- созданием резервного пульта управления.
- применением современных средств диагностики технического состояния оборудования
- обновлением и модернизацией оборудования, выработавшего ресурс:

- топливная загрузка,
- корпус реактора,
- откатные защиты со стационарными отражателями и замедлителями,
- исполнительные механизмы СУЗ,
- привода шиберов,
- электронная аппаратура СУЗ, приборы КИП и радиационного контроля.

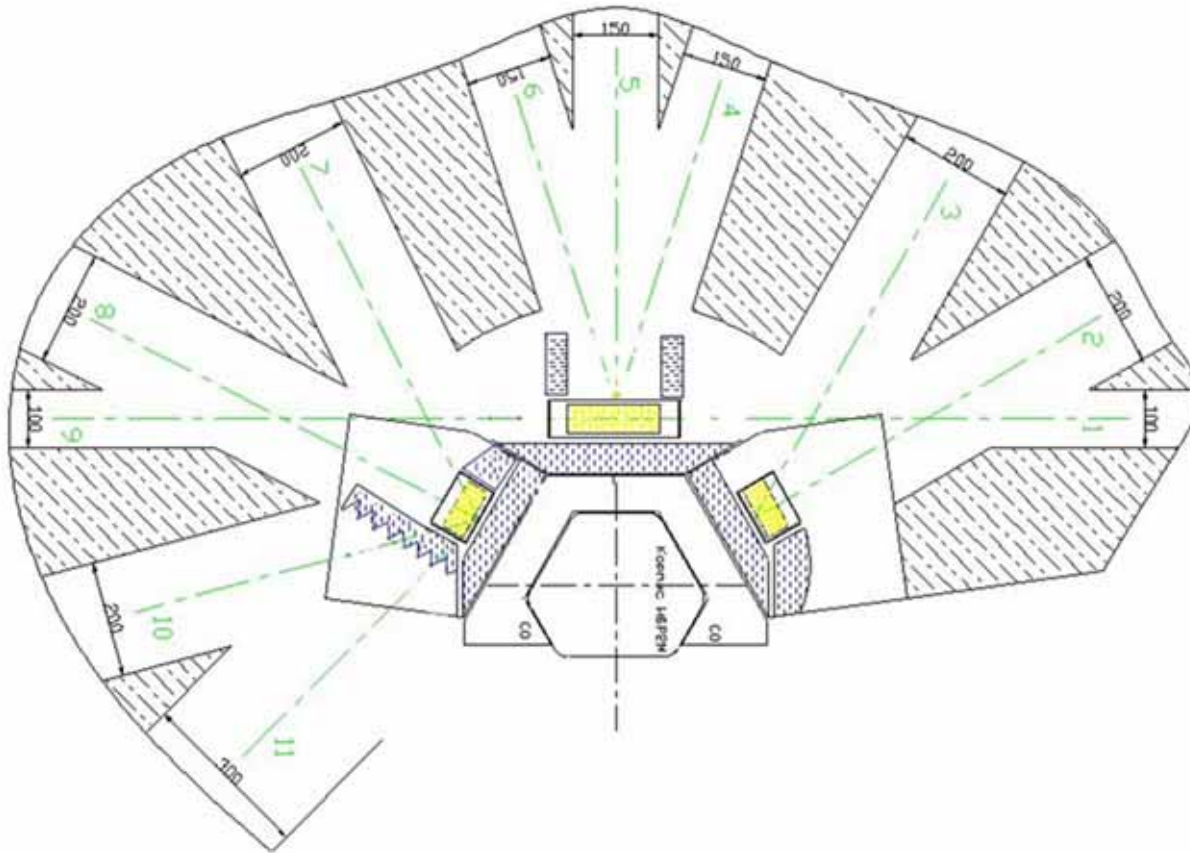


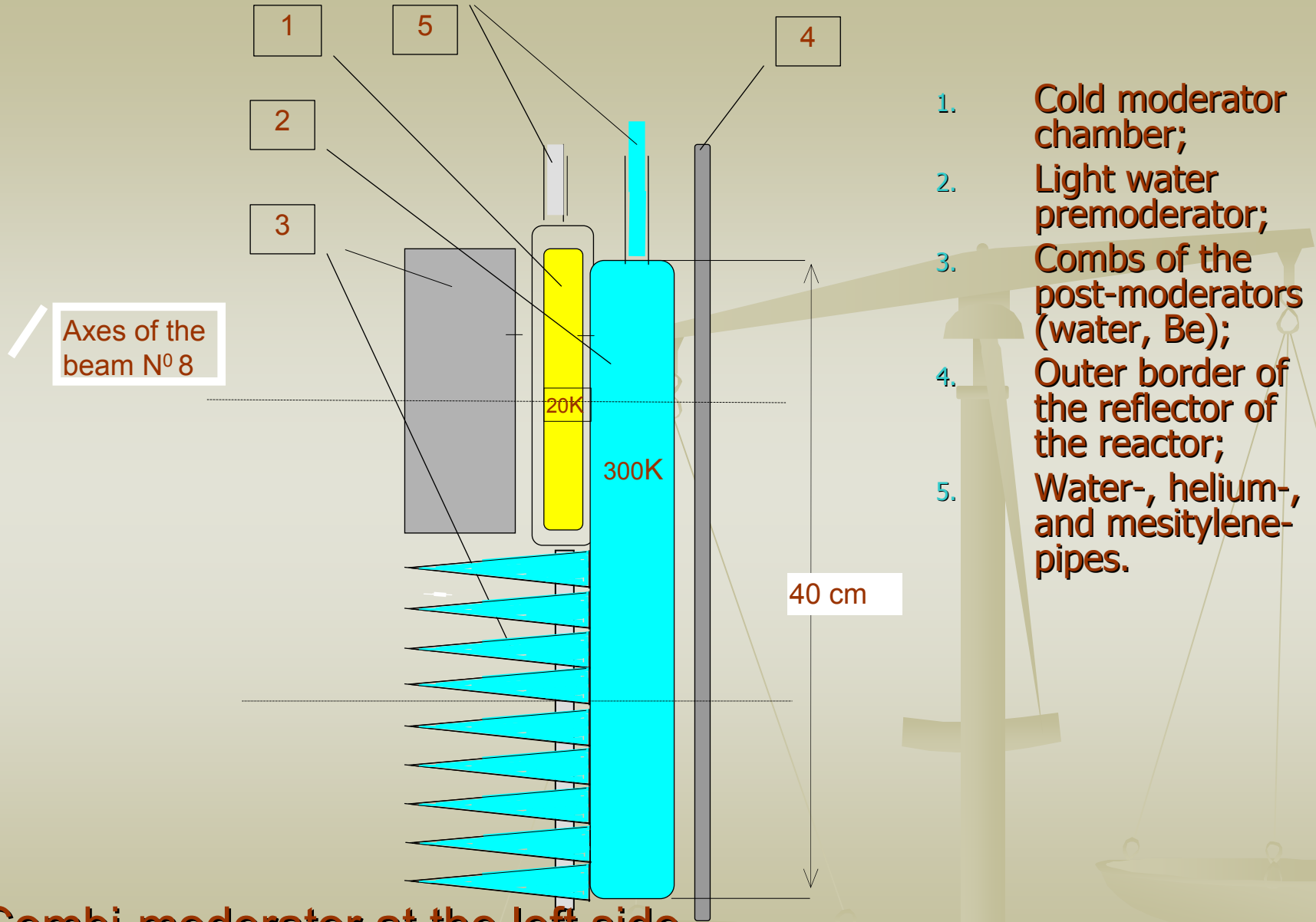
Scheme of the IBR-2 (left) and IBR-2M reactors (green marks moderator area)



IBR-2M is
more compact,
1.7 gain in flux

Cold (yellow) and room temperature chambers () around IRR-2M

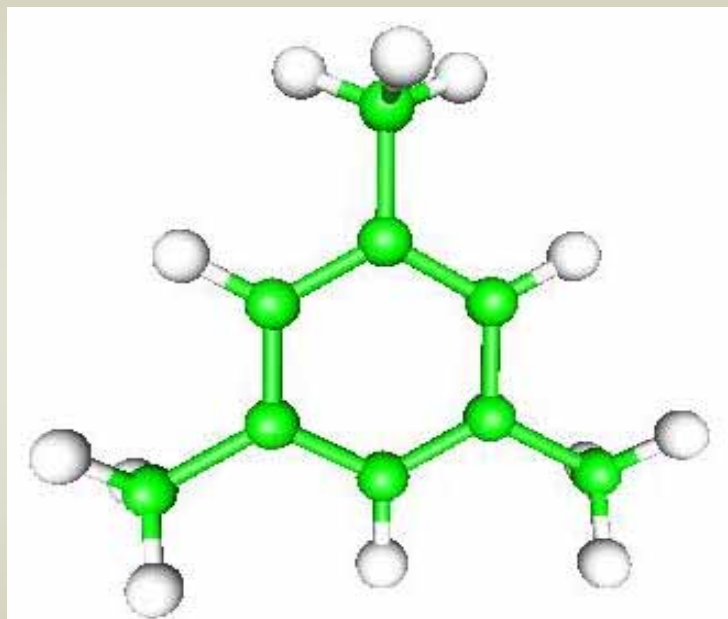




Combi-moderator at the left side of the IBR-2M reactor, vertical section.

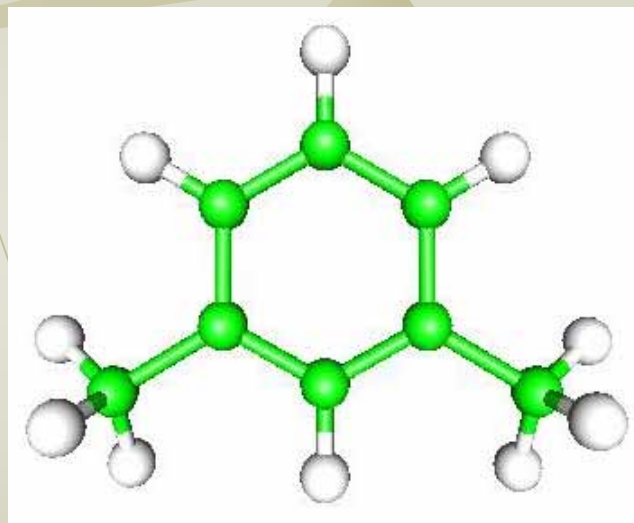
Твердый мезитилен – материал для холодного замедлителя

Мезитилен нейтронов



$T_{\text{плав}} = 227 \text{ K}$

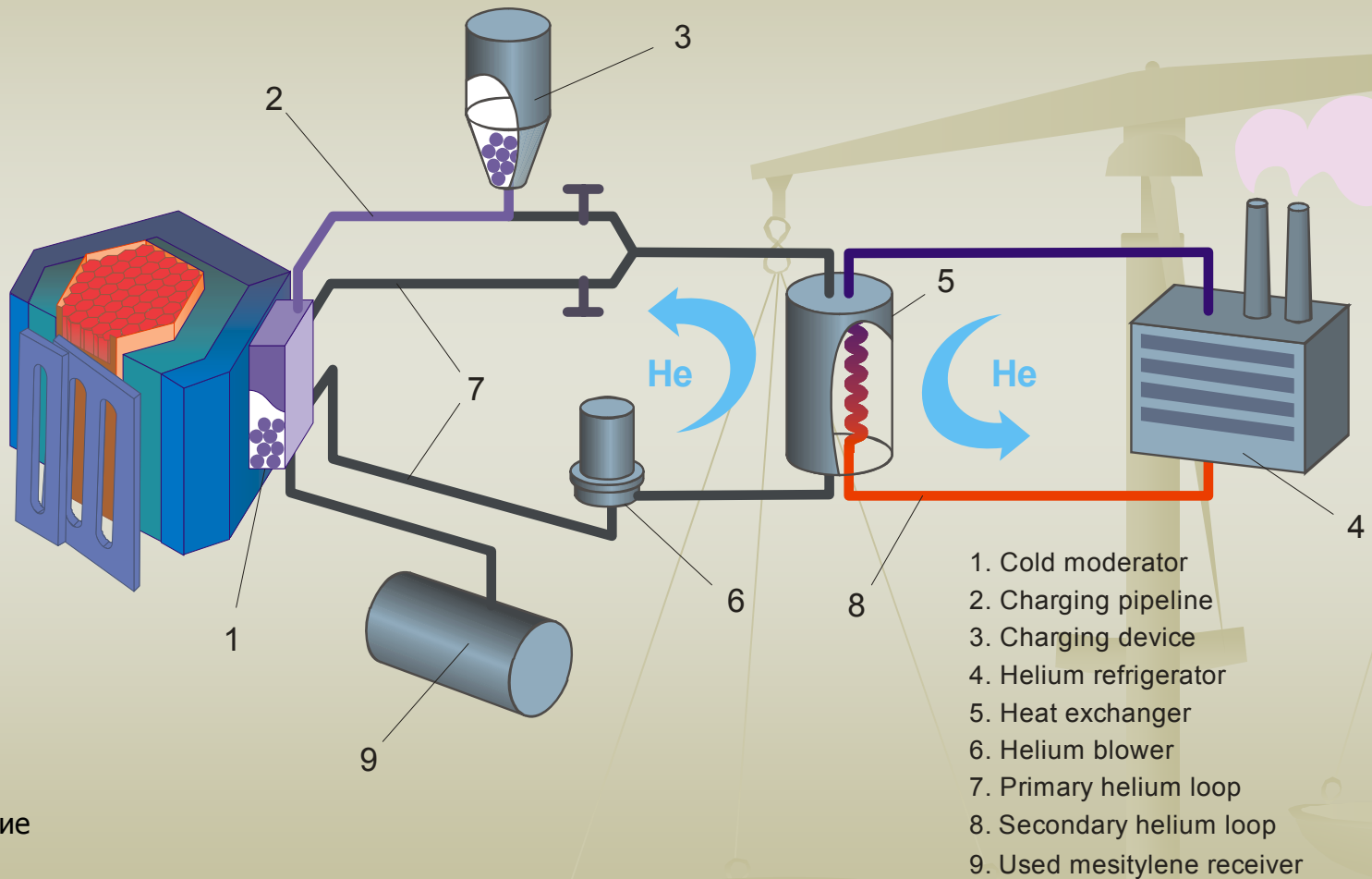
m-ксилол



$T_{\text{плав}} = 225 \text{ K}$

Смесь этих ароматических углеводородов
аморфна и хорошо термализует нейтроны

Principal scheme of the IBR-2M moderator system



Твердые шарики замороженной смеси мезитилена и *m*-ксилола



*Разработан принцип генерации массового количества шариков, основанный на замораживании капель раствора мезитилена и *m*-ксилола в определенном температурном режиме*

Пилотный образец генератора изготовлен

Защита

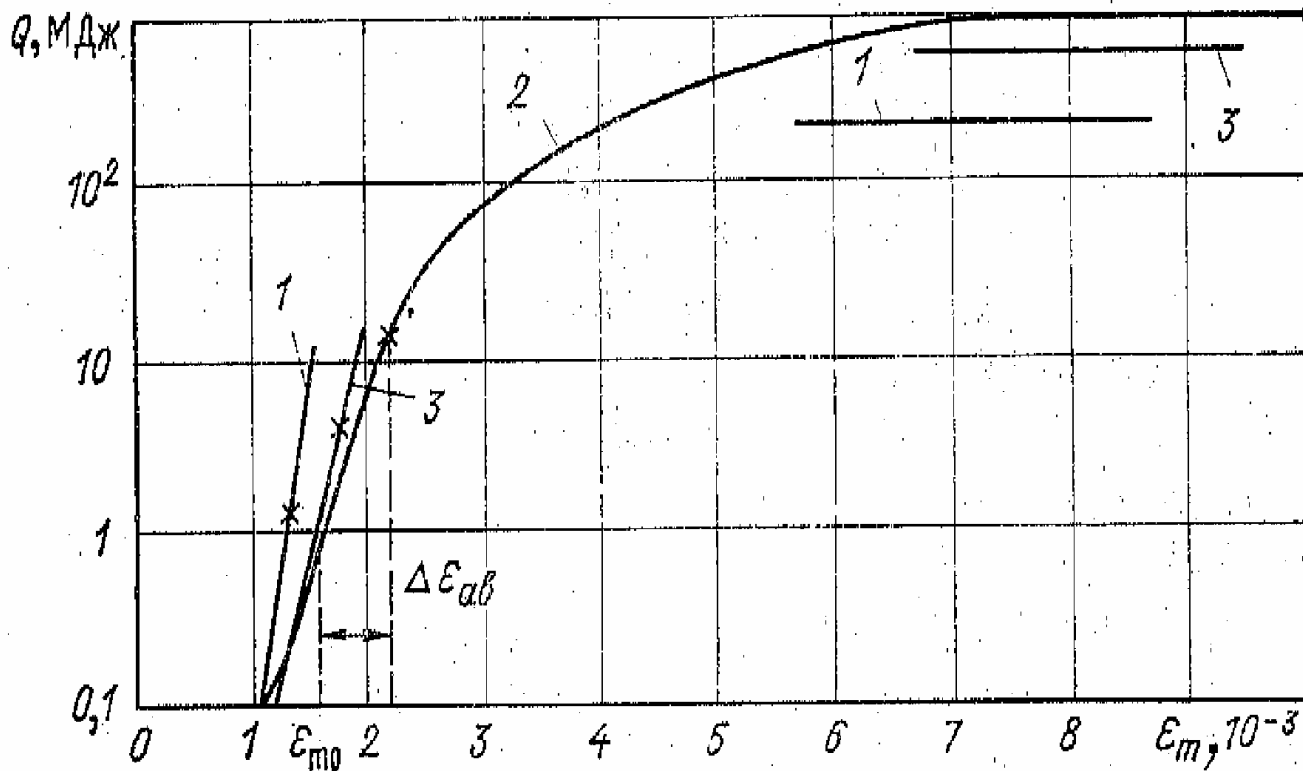
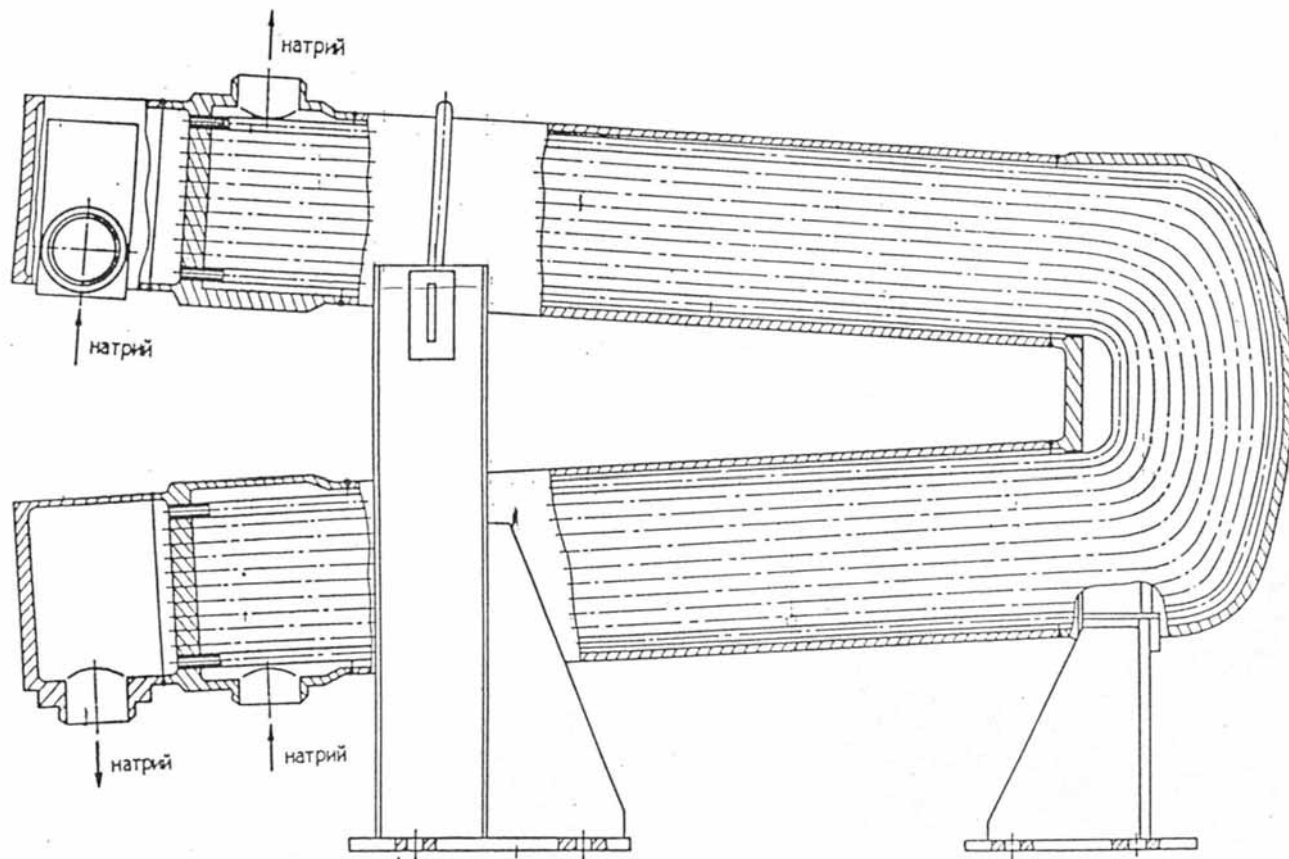
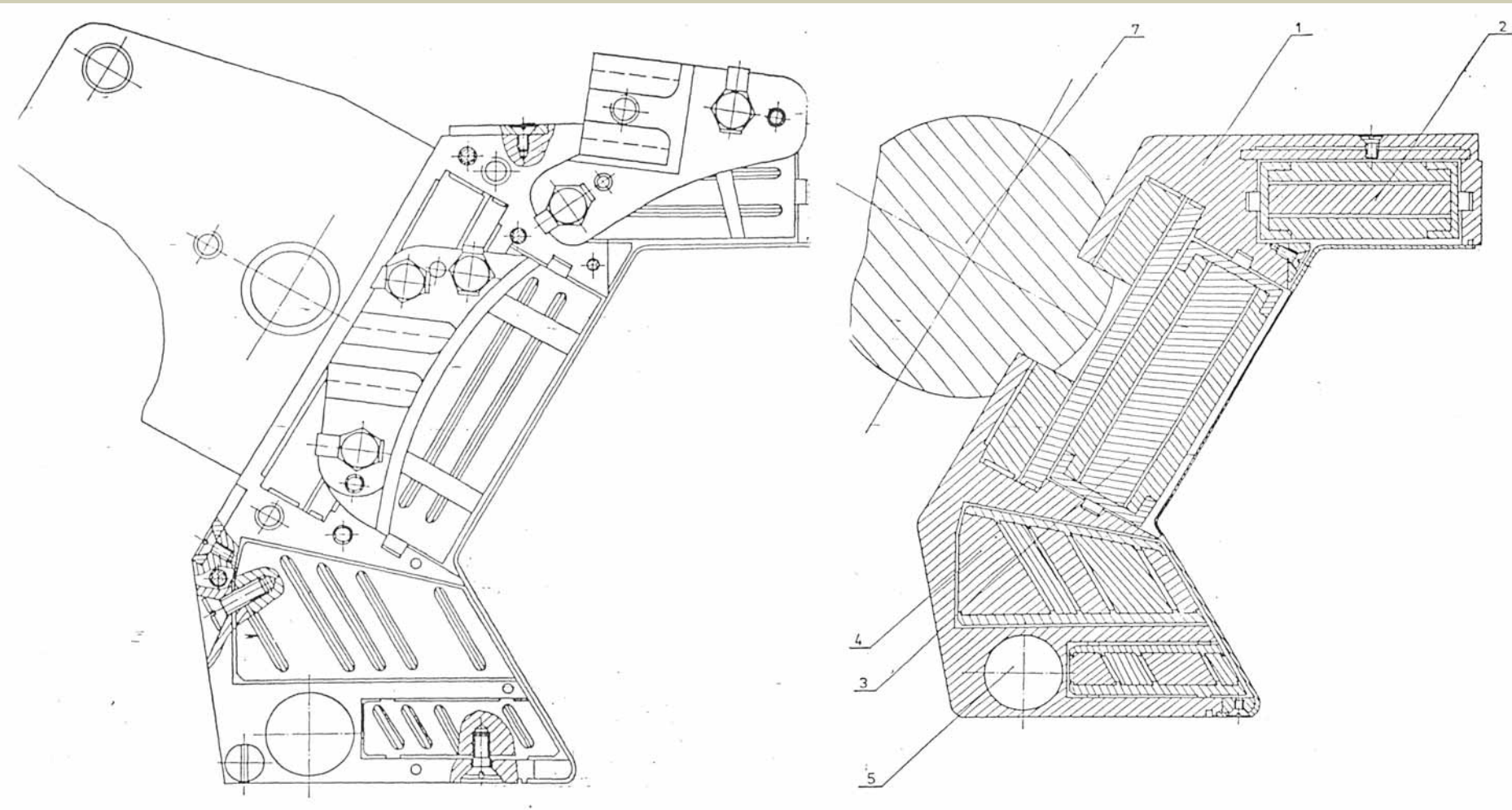


Рис. 8.5. Связь энергии вспышки мощности Q с максимальной реактивностью (расчет):
1 — для ИБР-30 ($n=0,5$ Гц); 2 — для ИБР-2 ($n=5$ Гц); 3 — для реактора SORA ($n=50$ Гц)

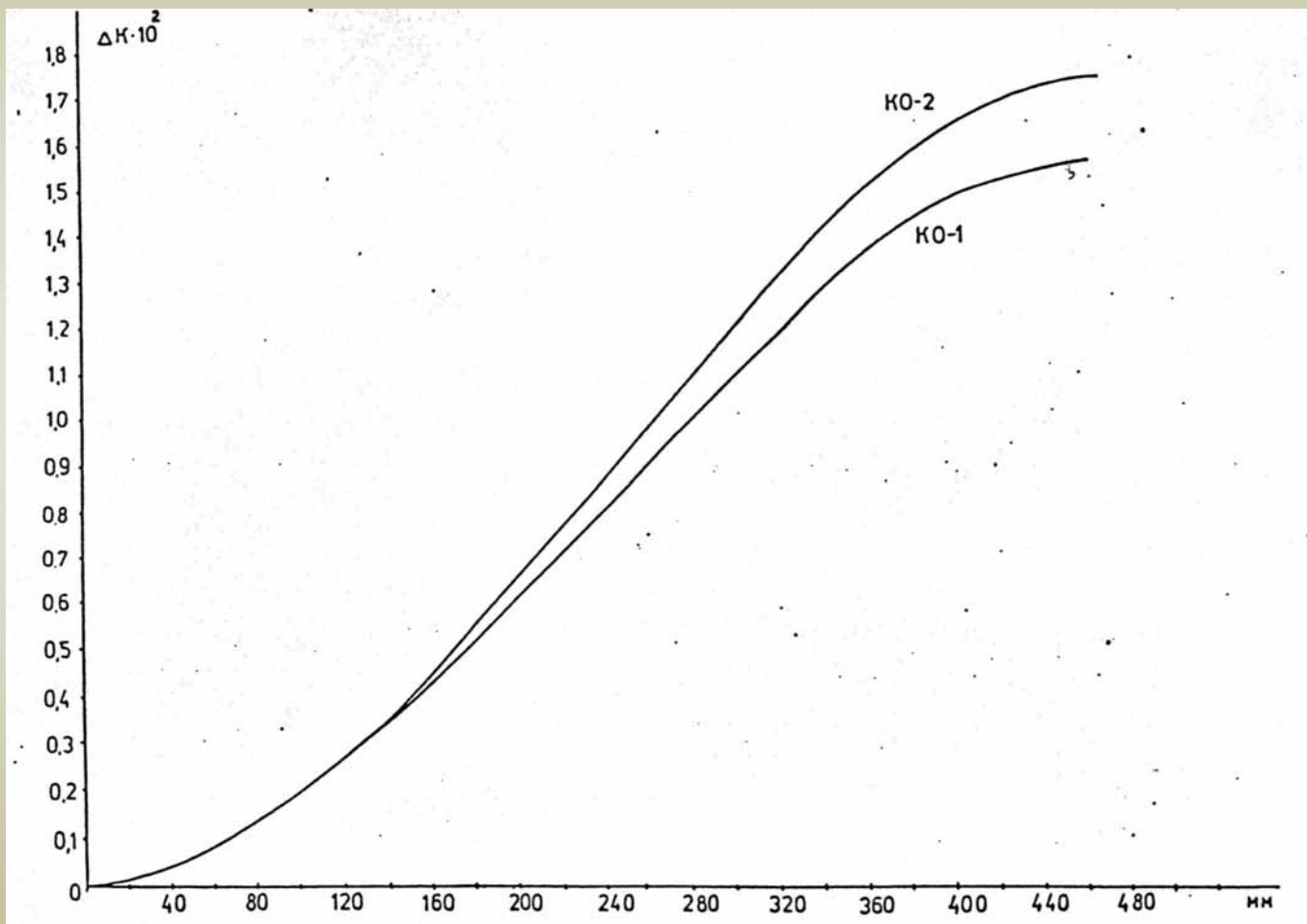


- Канал насоса предназначен для протока жидкого натрия, выполнен из нерж.стали марки 12Х18Н10Т с толщиной стенки 2 мм и состоит из сердечника и наружной трубы. Принцип действия насоса основан на взаимодействии бегущего магнитного поля, создаваемого обмоткой индуктора с токами, индуцируемыми этим полем в жидком металле. Возникающая сила заставляет теплоноситель двигаться в направлении движения магнитного поля.

Стационарный отражатель



Ход реактивности блока КО



Сброс блока МАЗ

