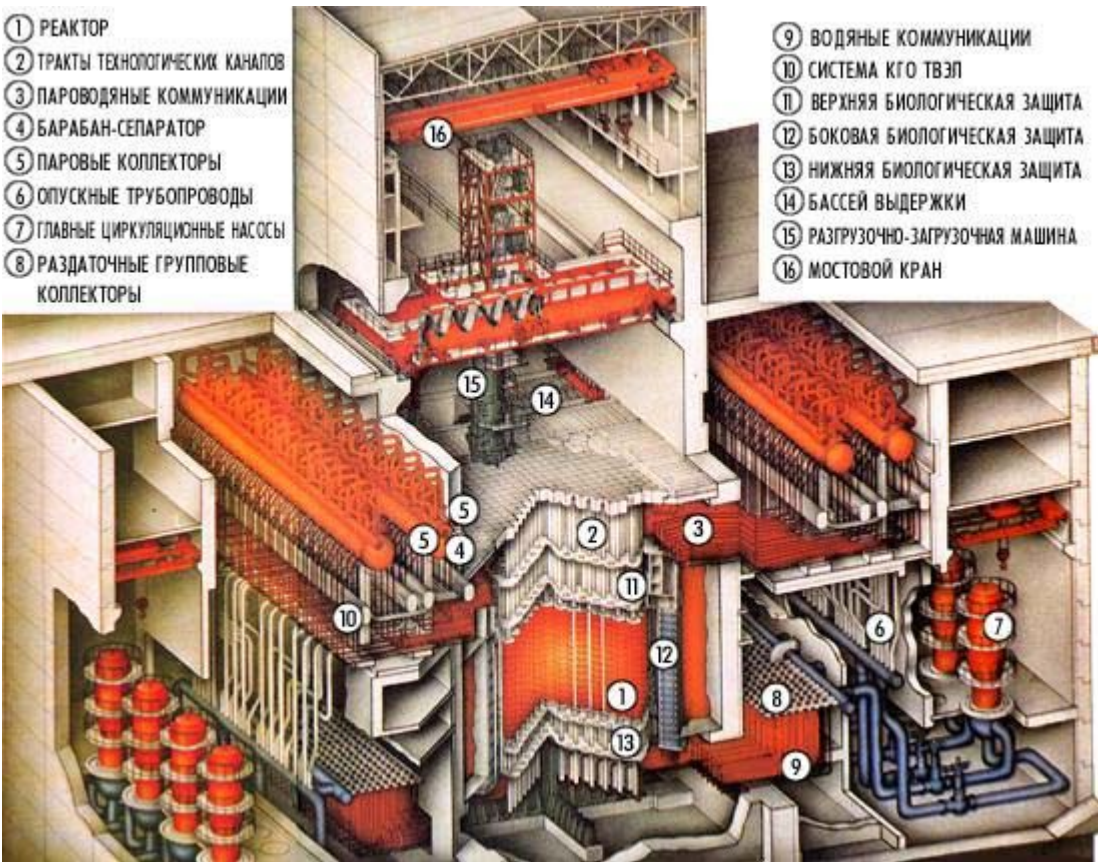


Лекция 8. Принятые технологии, история и перспективы развития: реакторы с кипящим теплоносителем, на быстрых нейтронах, другие типы.

РБМК (реактор большой мощности канальный)

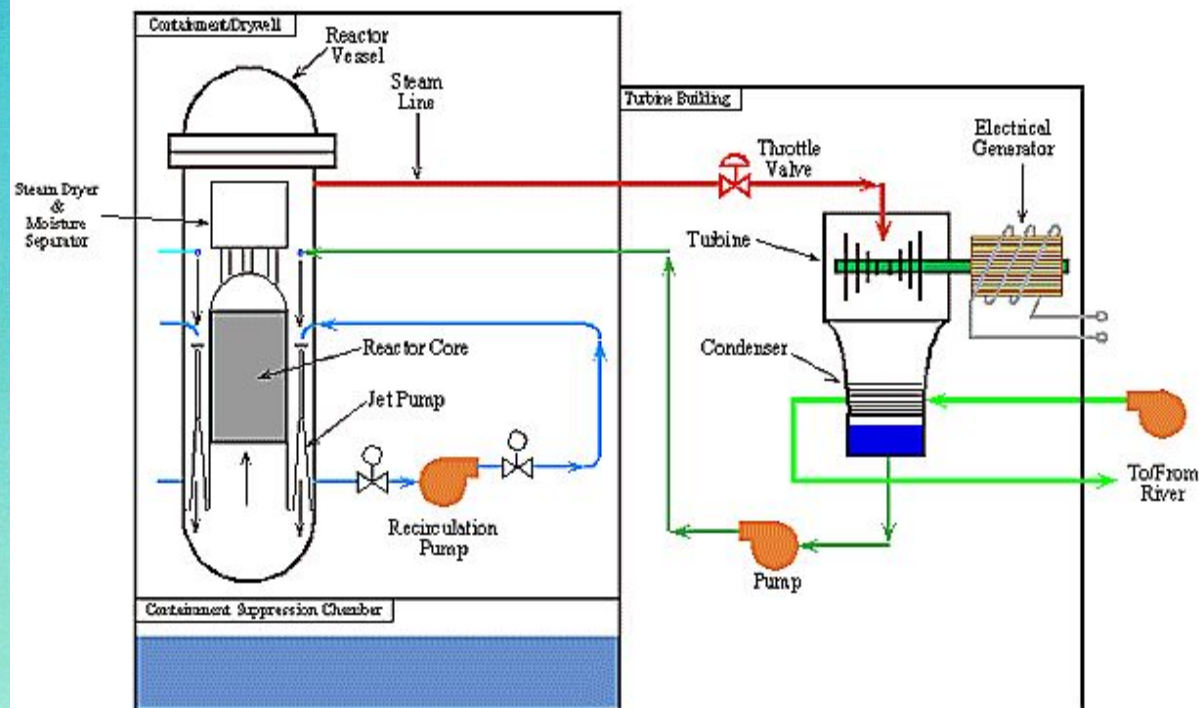
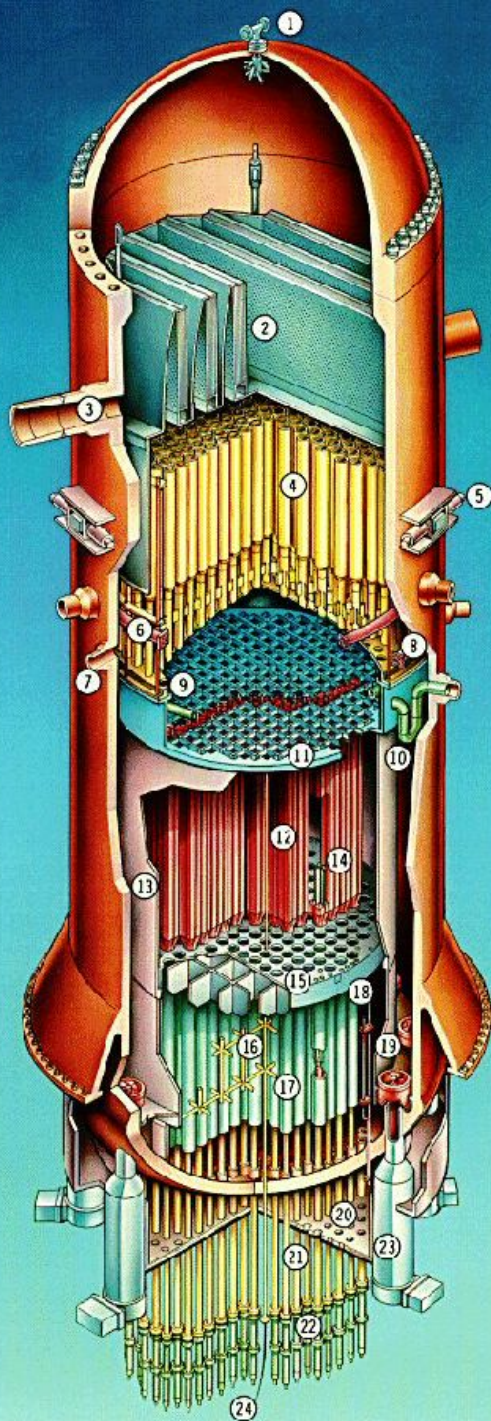
Всего на территории СССР работают 12 энергоблоков общей мощностью 12.3 ГВт. В других странах реакторов этого типа никогда не строилось. Стержневые твэлы с топливом из керамики UO_2 помещены в технологические каналы графитовой кладки (замедлитель). Теплоносителем является вода.



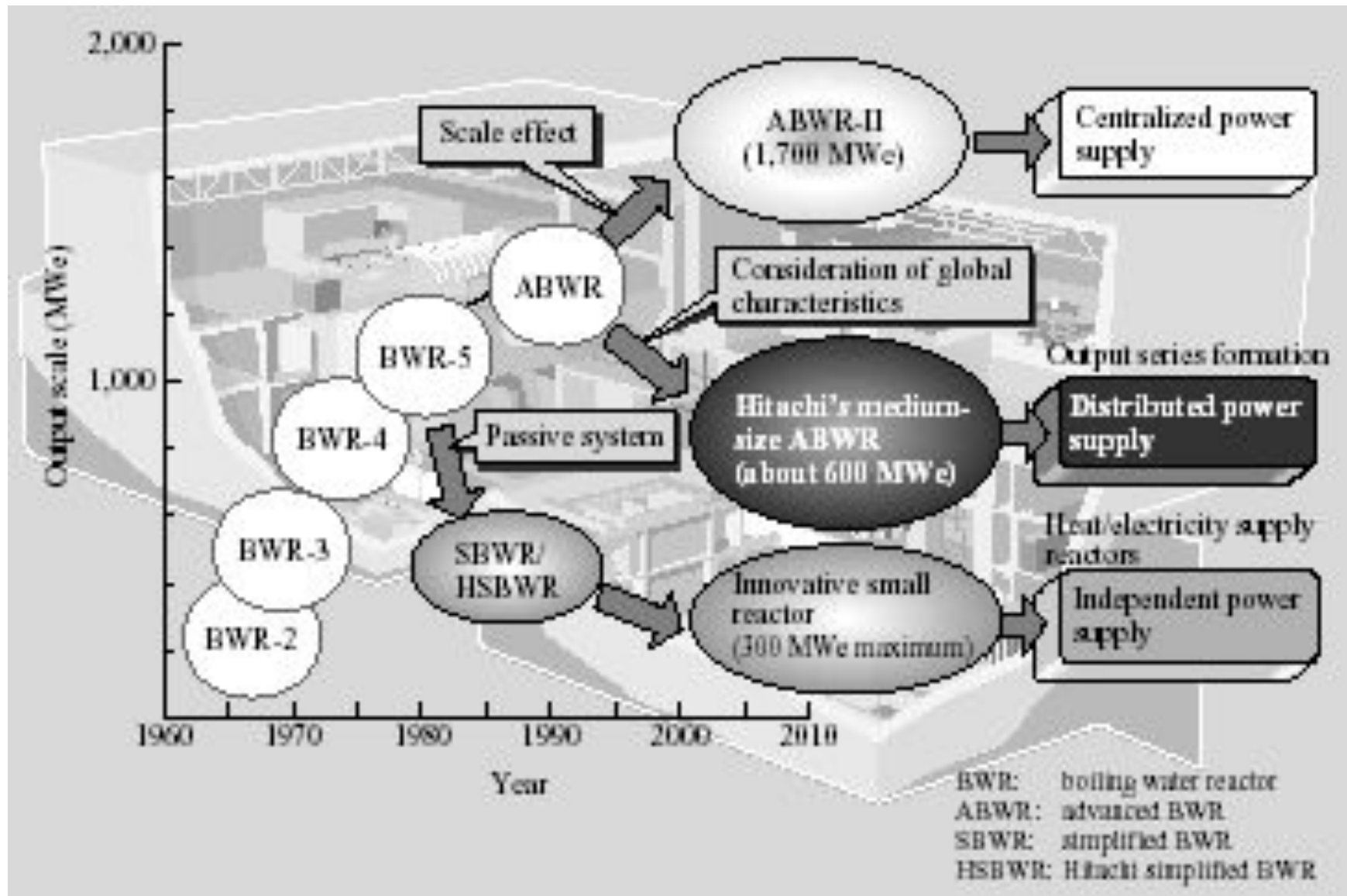
Тепловая мощность, МВт	3200
Электрическая мощность, МВт	1000
Расход теплоносителя, т/ч	48000
Паропроизводительность, т/ч	5600
Давление теплоносителя, МПа	6.9
Температура теплоносителя на выходе, С	284
Массовое паросодержание на выходе из каналов, %	15
Количество технологических каналов	1661
Загрузка реактора ураном, т	200
Начальное обогащение урана, %	2.0/2.4

BWR (boiling water reactor)

Построено 94 энергоблока общей электрической мощностью 86.4 ГВт. Используется одноконтурная схема, КПД 32 %. Стержневые ТВЭЛы в оболочке из циркониевого сплава охлаждаются водой, которая одновременно является замедлителем. Типичные характеристики: топливо UO_2 с обогащением 2.1 – 2.4 %, давление теплоносителя 7.3 МПа, температура на выходе 288 °С.



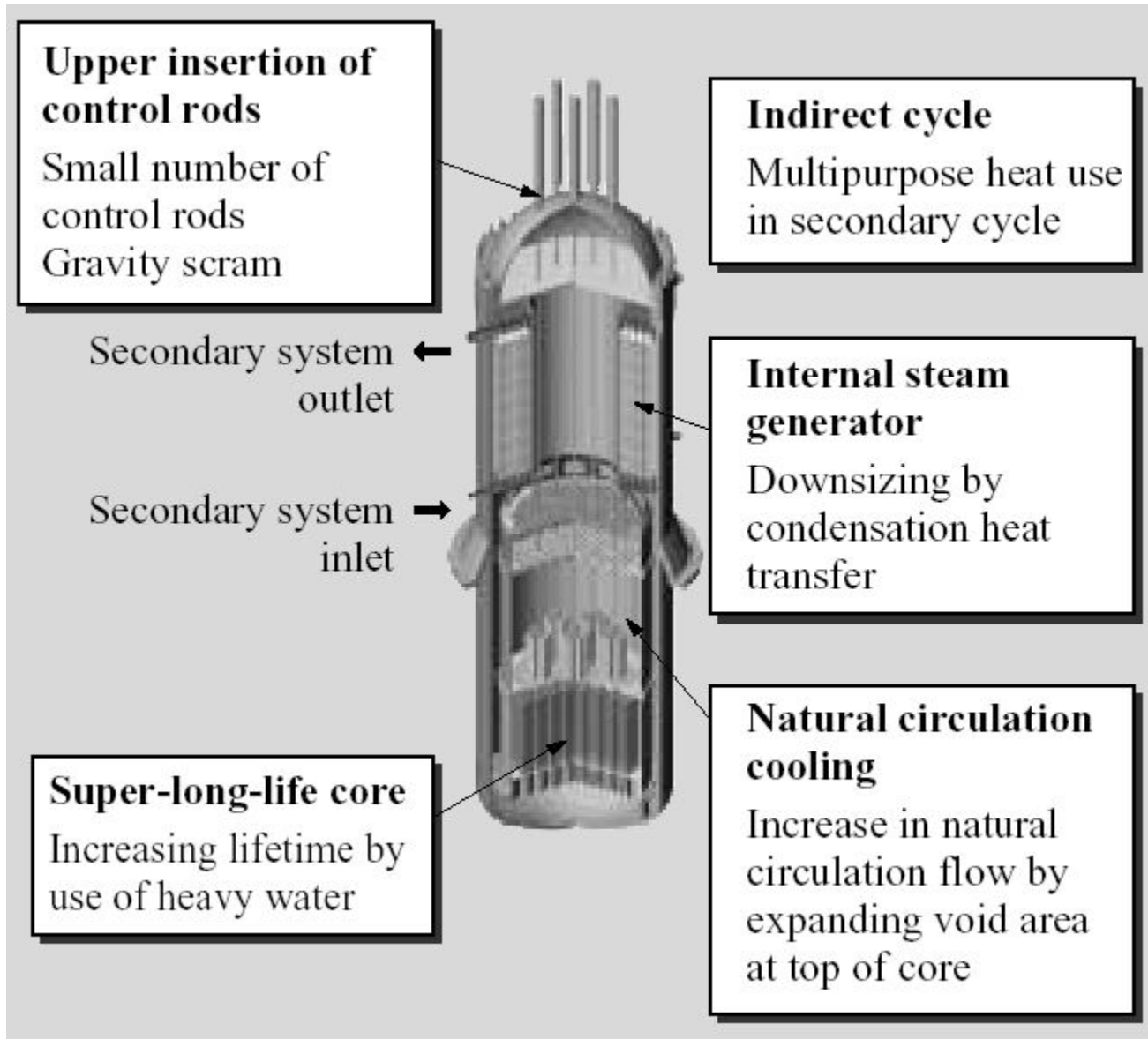
Эволюция поколений BWR



Сравнение ключевых характеристик

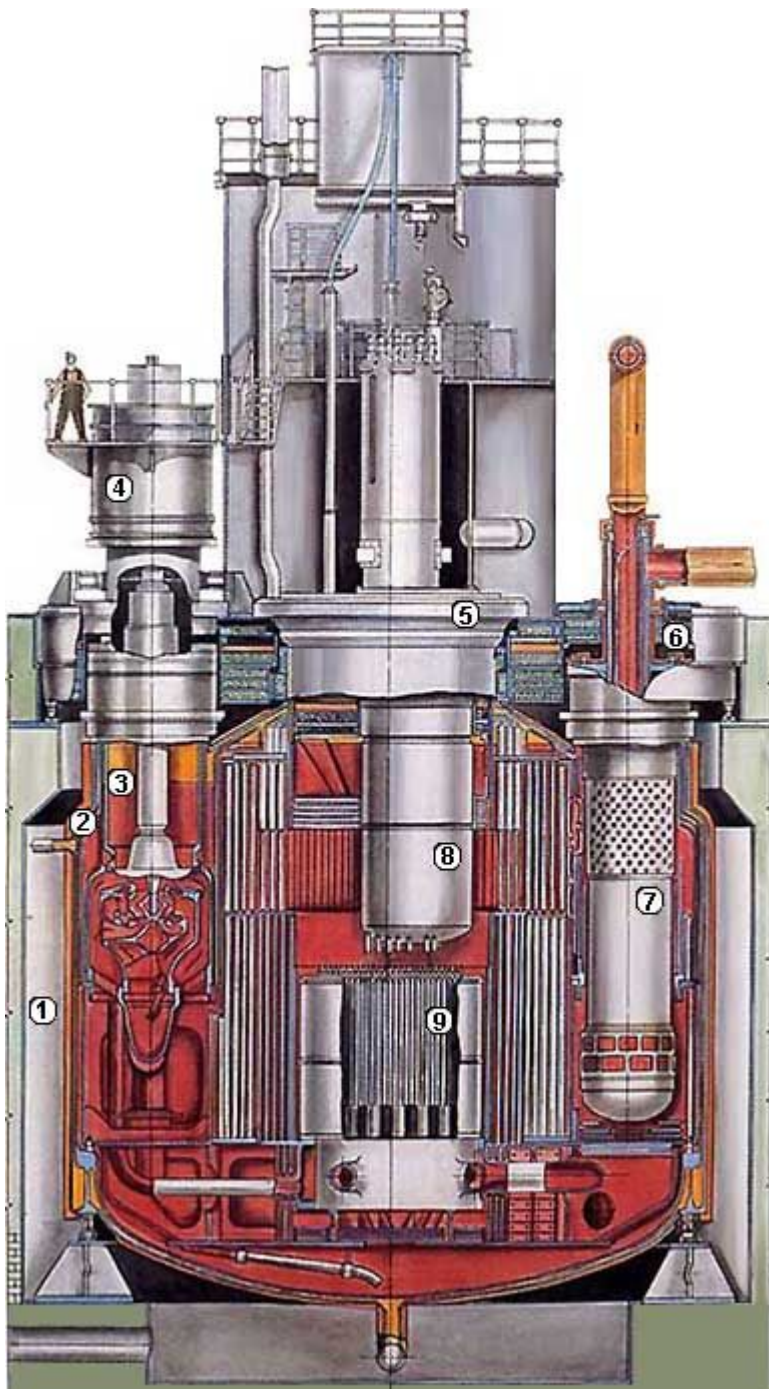
Параметр	BWR/4	BWR/6	ABWR	ESBWR
Мощность, МВт (тепл. /электр.)	3293/1098	3900/1360	3926/1350	4500/1550
Корпус, м (высота/диаметр)	21,9/6,4	21,8/6,4	21,1/7,1	27,7/7,1
Число кассет	764	800	872	1132
Высота активной части, м	3,7	3,7	3,7	3,0
Плотность мощности, КВт/л	50	54,2	51	54
Насосы рециркуляции	2 (внешние)	2 (внешние)	10 (внутренние)	0
Насосы систем безопасности	9	9	18	0
Дизельные генераторы систем безопасности	2	3	3	0
повреждение активной зоны, вероятность/год	10^{-5}	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-8}$

Кипящий реактор малой мощности SBWR



БН (быстрый натриевый), FBR (fast breeder reactor)

Четыре установки данного типа были построены в Японии, Франции, России общей мощностью 1.0 ГВт. На схеме приведен реактор БН600 – корпусной реактор – размножитель с интегральной компоновкой оборудования. Топливо керамическое $\text{UO}_2 - \text{PuO}_2$ с обогащением по зонам 17 – 22 % и 25 – 30 %. Твэлы стержневые, оболочка – сталь. Используется трехконтурная схема охлаждения, первые два контура – натрий, третий контур – вода.



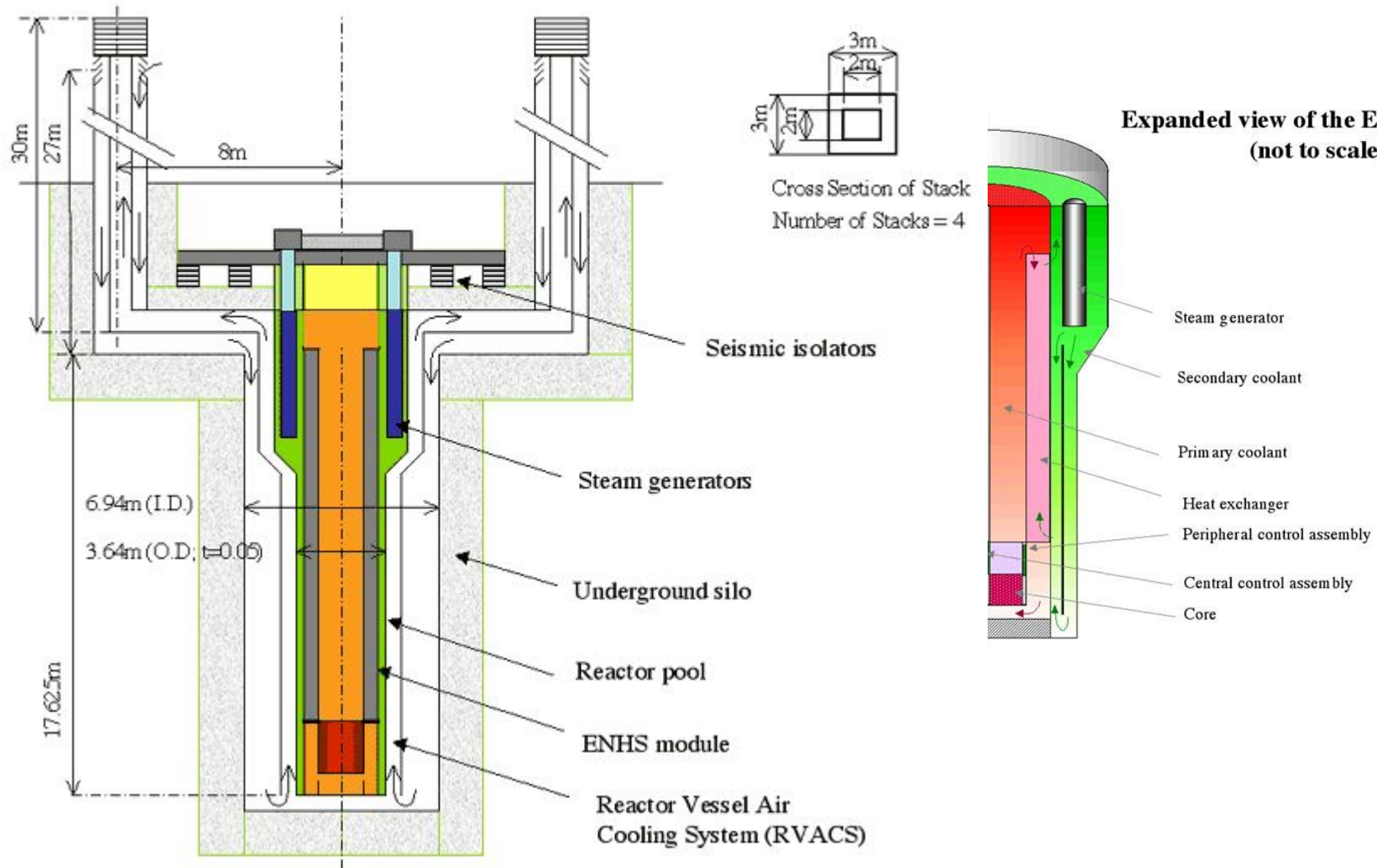
1-Шахта; 2-Корпус; 3-Главный циркуляционный насос 1 контура; 4-Электродвигатель насоса; 5-Большая поворотная пробка; 6-Радиационная защита; 7-Теплообменник "натрий-натрий"; 8-Центральная поворотная колонна с механизмами СУЗ; 9-Активная зона.

Основные реакторы на быстрых нейтронах

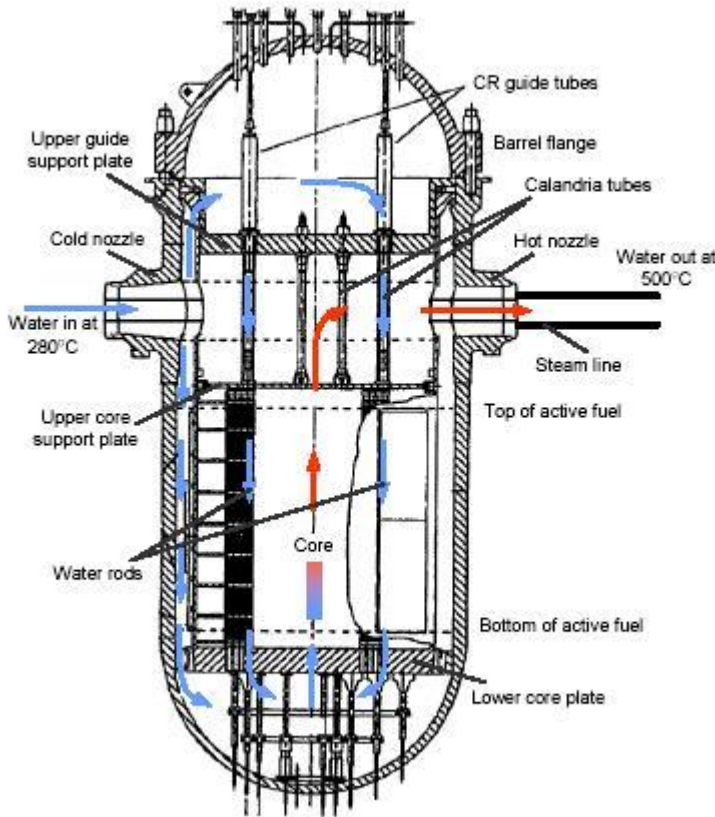
Наименование	МВт, эл.	МВт, тепловой	Годы работы
USA			
EBR 1	0.2		1951-63
EBR 2	20		1963-94
Fermi 1	66		1963-72
SEFOR		20	1969-72
Fast Flux TF		400	1980-93
UK			
Dounreay FR	15		1959-77
Protoype FR	270		1974-94
France			
Rapsodie		40	1966-82
Phenix	250		1973-
Superphenix 1	1240		1985-98
Germany			
KNK 2	21		1977-91
India			
FBTR		40	1985-
Japan			
Joyo		140	1978-
Monju	280		1994-96-?
Kazakhstan			
BN 350*	135		1972-99
Russia			
BR 5 /10		5 /10	1959-71, 1973-
BOR 60	12		1969-
BN 600	560		1980-

ENHS (Encapsulated Nuclear Heat Source)

Schematic vertical cut through the ENHS reactor



SCWR (supercritical water reactor)



Сверхкритические водоохлаждаемые реакторы (SCWR) по существу похожи на легководные ядерные реакторы работающие при высоком давлении и высокой температуре. В SCWR достигается высокий термический к.п.д. (то есть приблизительно 45%, а не 35% к.п.д. как для усовершенствованного BWR). SCWR являются так же простыми реакторами, в которых исключены многие из традиционных для BWR компонентов: рециркуляционные насосы, парогенераторы, паросепараторы и осушители пара. Такие реакторы могут быть реализованы на основе двух известных технологий: BWR и сверхкритический пылеугольный котел. SCWR подходит для производства электричества и развития водородной энергетики. На схеме изображен реактор SCWR1600, давление 25 МПа.

MSR (molten salt reactor)

Реактор использует в качестве топлива и теплоносителя расплав фторидов натрия, циркония, урана и плутония. Мощность реактора 1000 МВт, давление в активной зоне менее 0.5 МПа.

