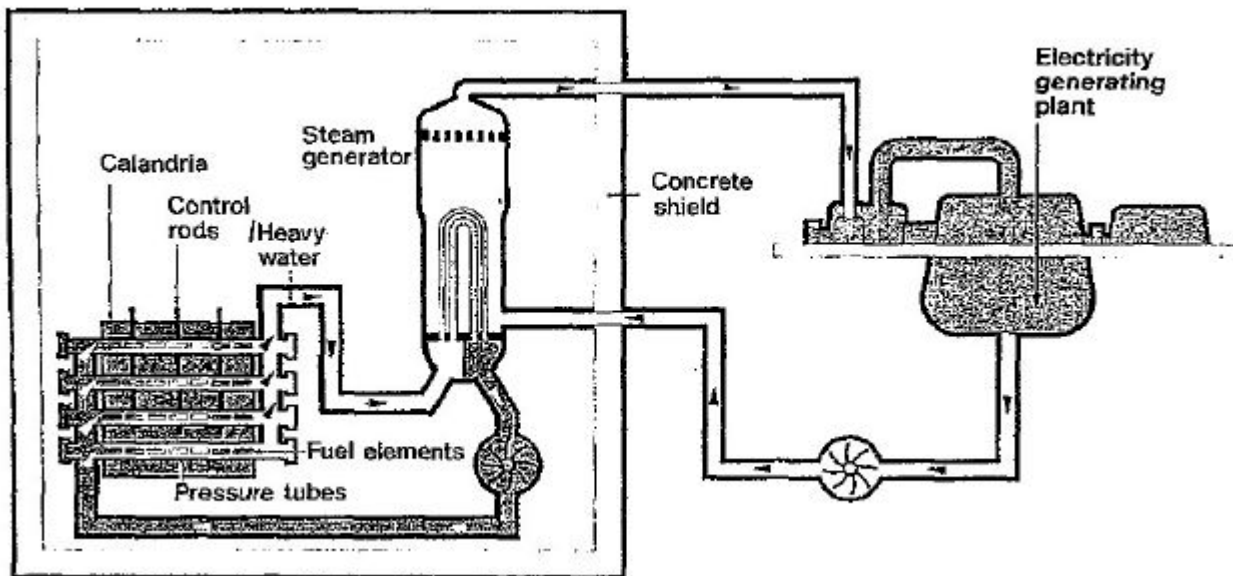
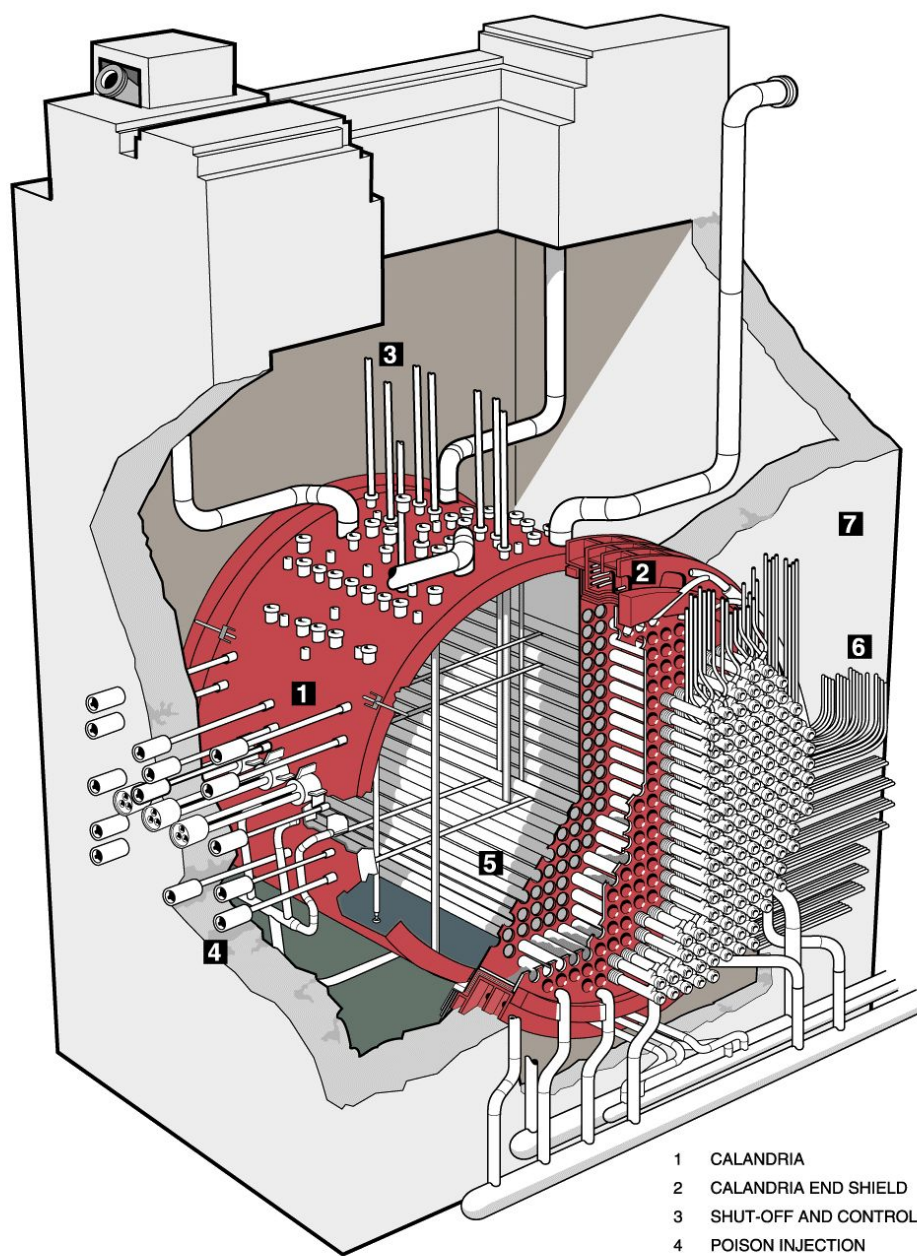


Лекция 7. Принятые технологии, история и перспективы развития: реакторы с тяжелой водой и с водой под давлением.

CANDU (canadian deuterium – uranium)

Построены в Канаде, общее количество 44 энергоблока 24.3 ГВт. Теплоносителем и замедлителем является тяжелая вода под давлением 8.9 МПа, температура на выходе 305 °С, КПД 30 %. Основное достоинство - использование в качестве топлива необогащенного урана. Стержневые твэлы заполнены таблетками из UO_2 , сборки помещены в горизонтальные трубы. Второй контур – легкая вода. Недостатком реактора является дороговизна и токсичность тяжелой воды.



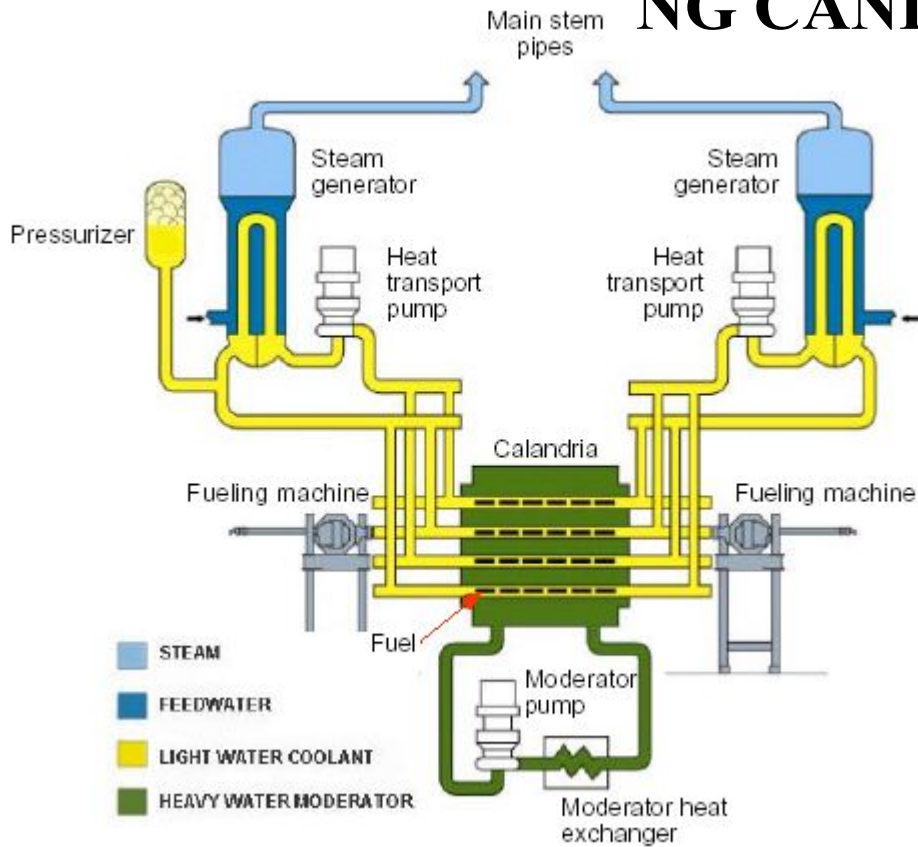


- 1 CALANDRIA
- 2 CALANDRIA END SHIELD
- 3 SHUT-OFF AND CONTROL RODS
- 4 POISON INJECTION
- 5 FUEL CHANNEL ASSEMBLIES
- 6 FEEDER PIPES
- 7 VAULT

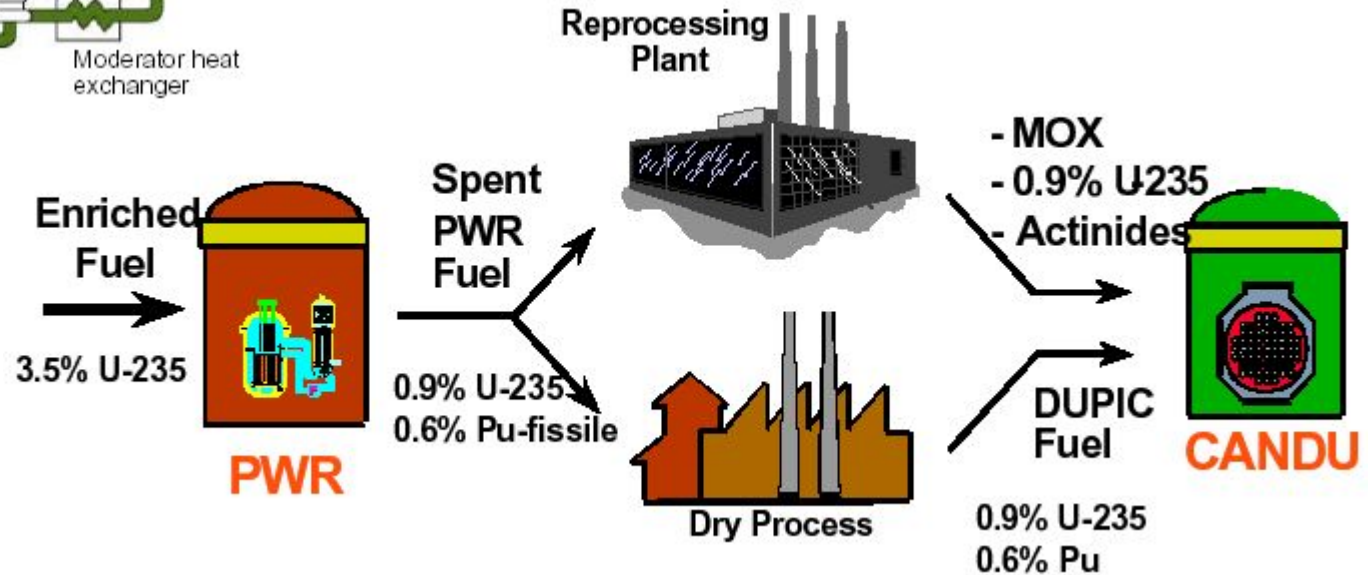
970667-2

CANDU 6 Reactor Assembly

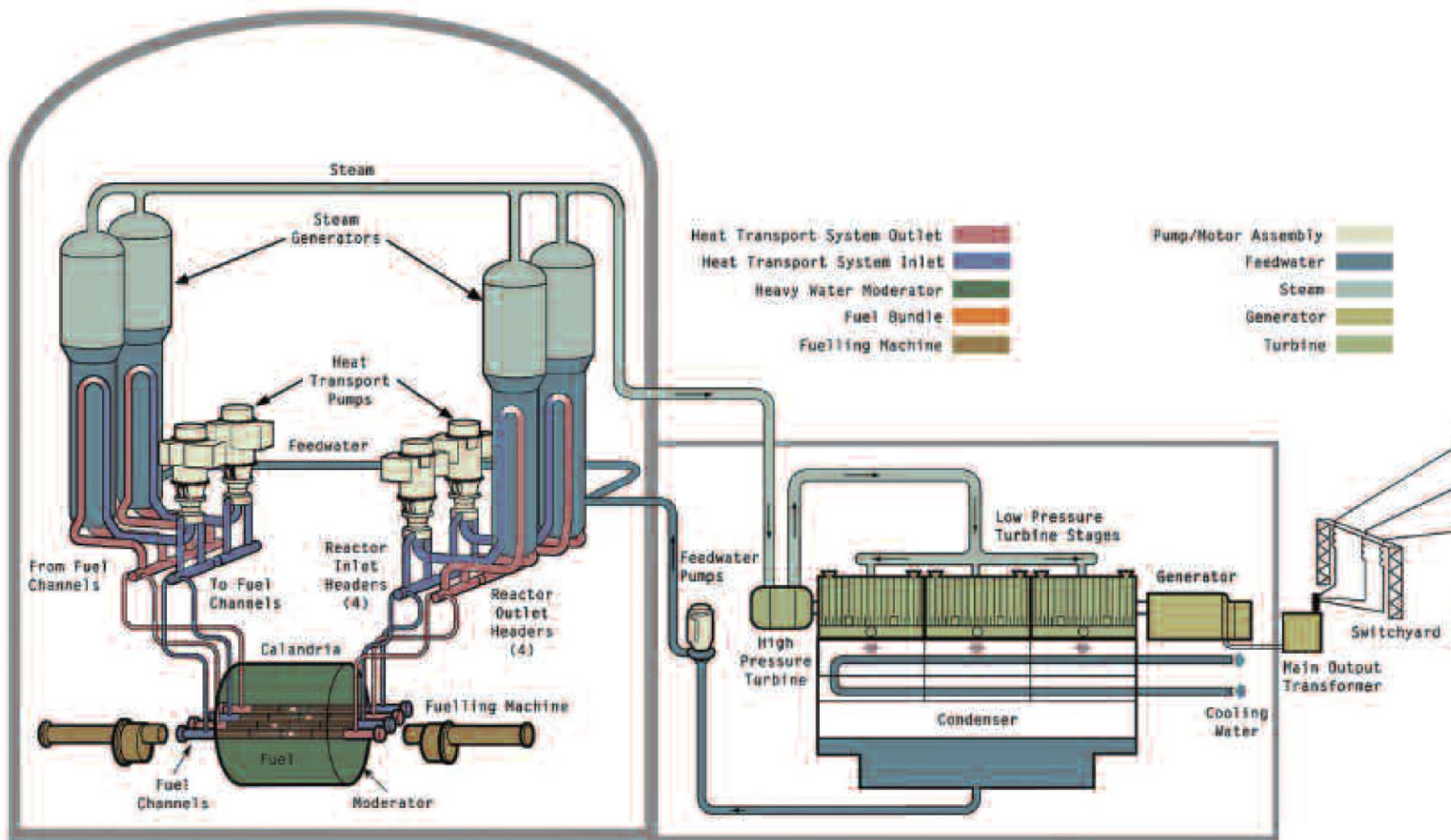
NG CANDU, CANDU 9



- STEAM
- FEEDWATER
- LIGHT WATER COOLANT
- HEAVY WATER MODERATOR

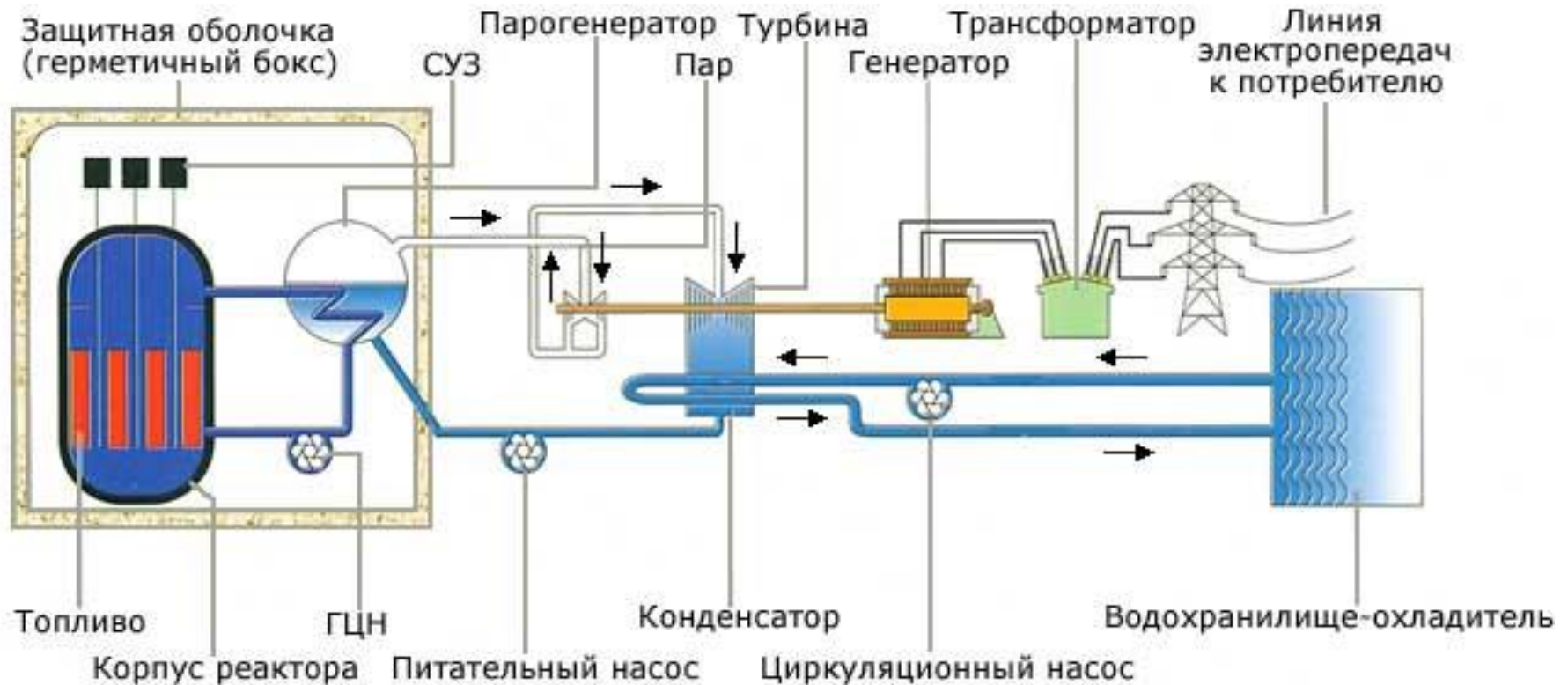


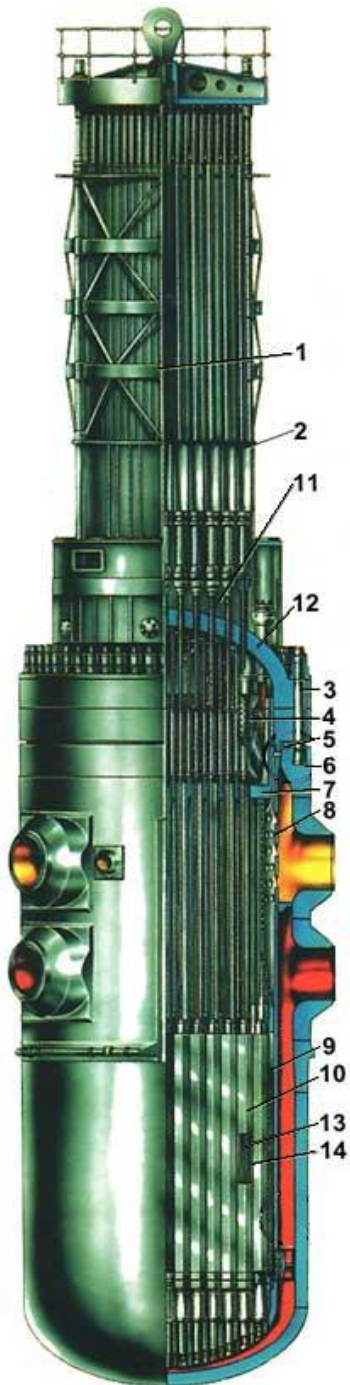
ACR - 1000



PWR (pressurized water reactor), ВВЭР (водо – водяной энергетический реактор)

Основные преимущества – низкая стоимость строительства и большой опыт эксплуатации. Используется в 20 странах, всего построено 265 энергоблоков общей мощностью 251.6 ГВт (2008 год). Топливо в виде керамических таблеток UO_2 помещено в стержневой твэл из циркониевого сплава. Теплоноситель и замедлитель – вода. Остальные характеристики приведены в таблице.

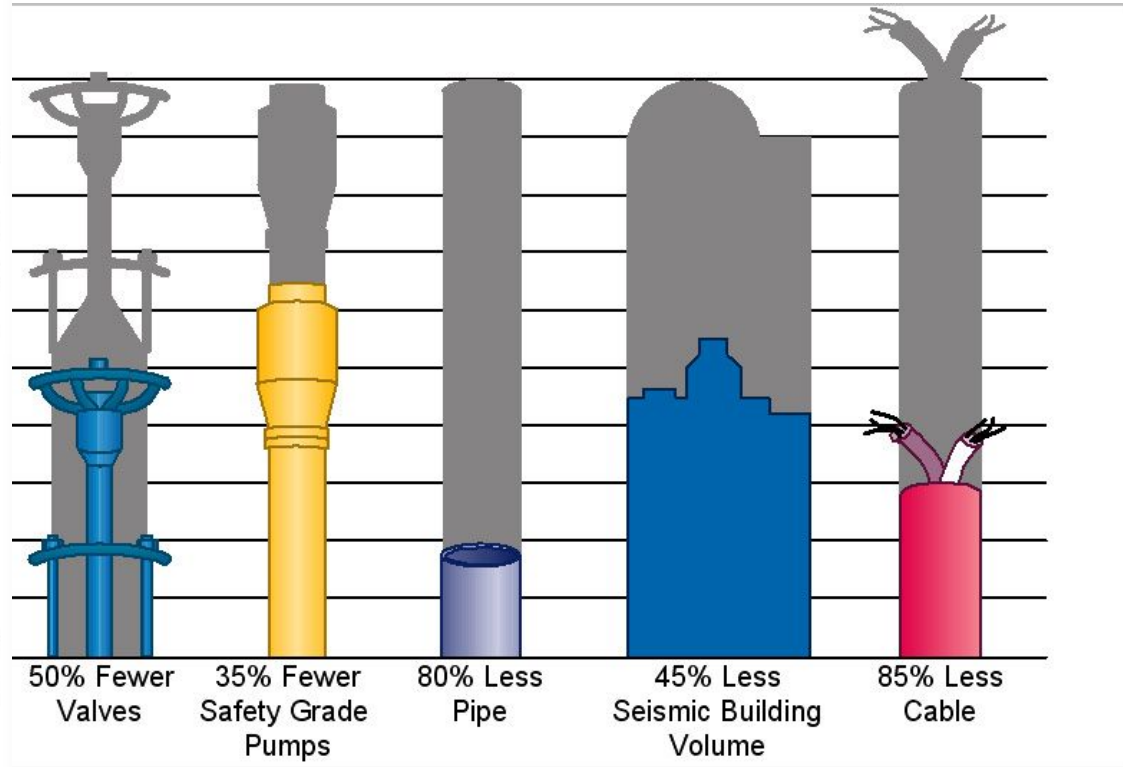
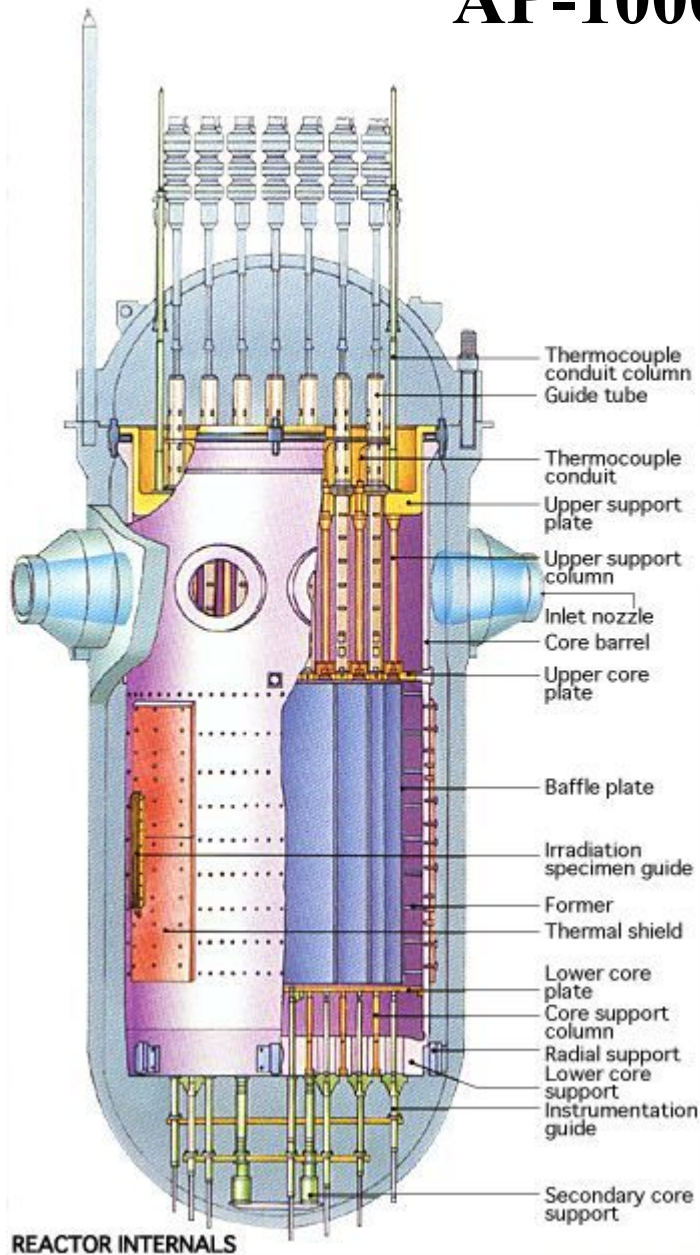




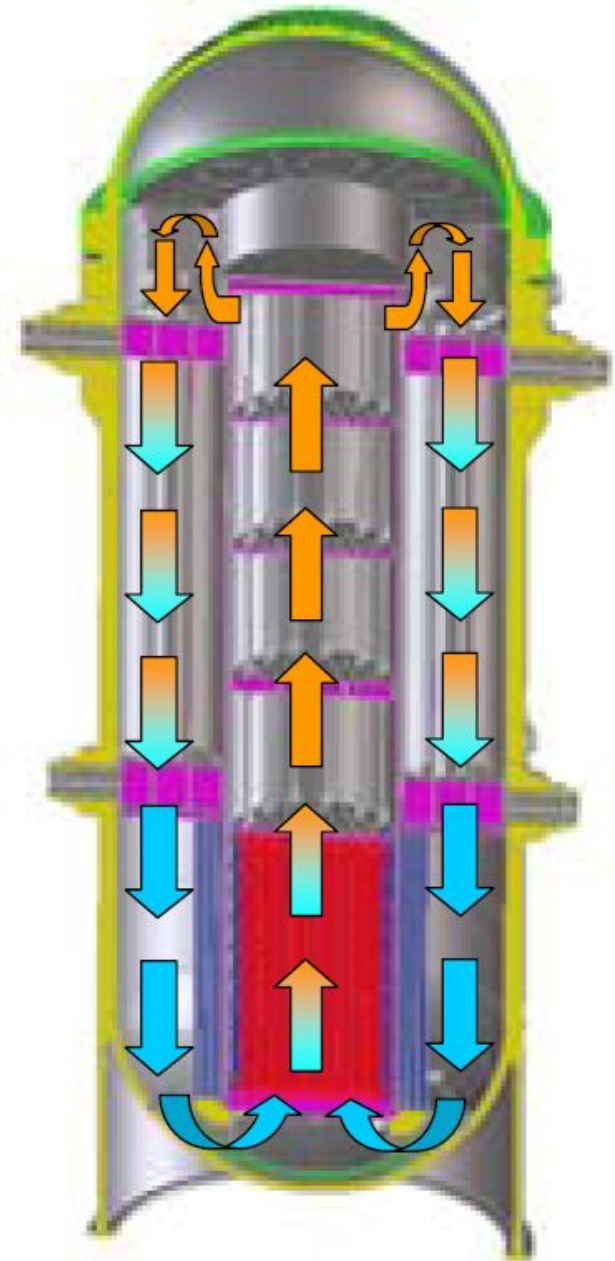
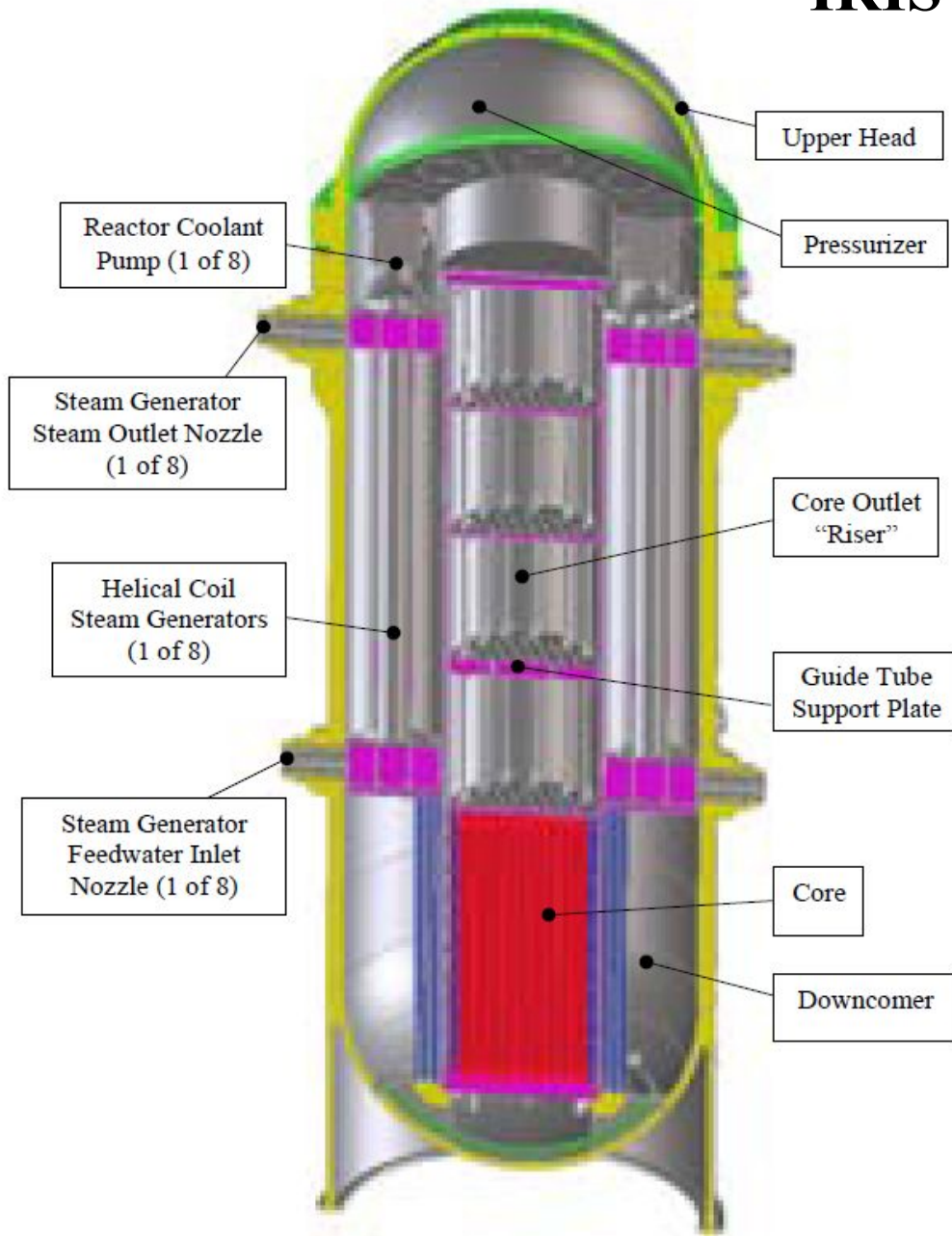
Кпд, %	32
Эквивалентный диаметр, мм	3120
Высота, мм	3550
Рабочее давление, МПа	16
Температура теплоносителя, °	289
С	на входе в реактор
	на выходе из реактора
Расход теплоносителя через реактор, кг/с	19000
Загрузка реактора топливом, кг	75000
Обогащение топлива, %	4.4 - 3.3
Время работы между перегрузками топлива, месяцы	9.5

- 1-верхний блок;
- 2-привод СУЗ(системы управления и защиты);
- 3-шпилька;
- 4-труба для загрузки образцов-свидетелей;
- 5-уплотнение;
- 6-корпус реактора;
- 7-блок защитных труб;
- 8-шахта;
- 9-выгородка активной зоны;
- 10-топливные сборки;
- 11-теплоизоляция реактора;
- 12-крышка реактора;
- 13-регулирующие стержни;
- 14-топливные стержни;
- 15-фиксирующие шпонки;

AP-1000 (advanced PWR)



IRIS



Технические данные реактора IRIS

General plant data

Power plant output, gross		MW(e)
Power plant output, net	335	MW(e)
Reactor thermal output {core power 1000 MW(t)}		1002
		MW(t)
Power plant efficiency, net		%
Cooling water temperature		°C

Nuclear steam supply system

Number of coolant loops		Integral RCS
Primary circuit volume, including pressurizer	455	m ³
Steam flow rate at nominal conditions	503	kg/s
Feedwater flow rate at nominal conditions	503	kg/s
Steam temperature/pressure	317/5.8	°C/MPa
Feedwater temperature/pressure	224/6.4	°C/MPa

Reactor coolant system

Primary coolant flow rate	4700	kg/s
Reactor operating pressure	15.5	MPa
Coolant inlet temperature, at core inlet	292	°C
Coolant outlet temperature, at riser outlet	328.4	°C
Mean temperature rise across core	38	°C

Reactor core

Active core height	4.267	m
Equivalent core diameter	2.413	m
Heat transfer surface in the core	2992	m ²
Fuel inventory	48.5	t U
Average linear heat rate	9.97	kW/m
Average fuel power density	20.89	kW/kgU
Average core power density (volumetric)	51.26	kW/l
Thermal heat flux, F _q	2.60	
Enthalpy rise, F _H	1.65	

Fuel material	Sintered UO ₂
Fuel assembly total length	5207 mm
Rod arrays	square, 17x17
Number of fuel assemblies	89
Number of fuel rods/assembly	264
Number of control rod guide tubes	25
Number of structural spacer grids	10
Number of intermediate flow mixing grids	4
Enrichment (range) of first core	2.6-4.95 Wt % U-235
Enrichment of reload fuel at equilibrium core	≤ 5.0 Wt %U-235
Operating cycle length (fuel cycle length)	30-48 months
Average discharge burnup of fuel (nominal)	40000-65000 MWd/t
Cladding tube material	ZIRLO™
Cladding tube wall thickness	0.57 mm
Outer diameter of fuel rods	9.5 mm
Overall weight of assembly	kg
Active length of fuel rods	4267 mm
Burnable absorber, strategy/material	IFBA and Er
Number of control rods	37
Absorber rods per control assembly	24
Absorber material	Ag-In-Cd (black), Ag-In-Cd/304SS (gray)
Drive mechanism	Magnetic jack
Positioning rate [in steps/min or mm/s]	45 steps/min
Soluble neutron absorber	Boric acid

Reactor pressure vessel

Cylindrical shell inner diameter	6210 mm
Wall thickness of cylindrical shell	285 mm
Total height	21300 mm
Base material: cylindrical shell	Carbon steel
RPV head	Carbon steel
Liner	Stainless steel
Design pressure/temperature	17.2/360 MPa/°C
Transport weight (lower part), and	1045 t