

Лекция 10. АЭС С РЕАКТОРОМ РБМК

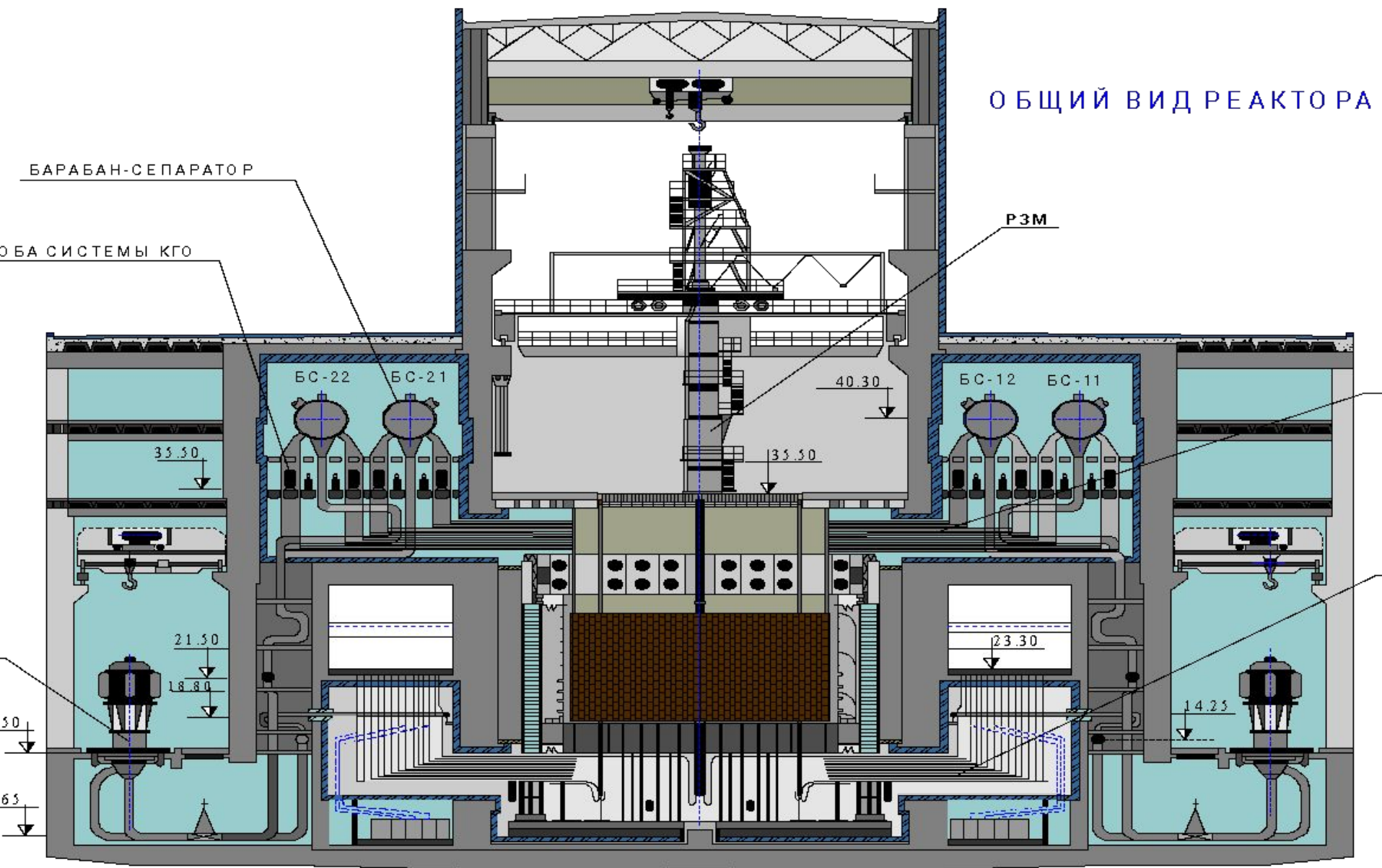


Таблица 2.1. Основные характеристики АЭС с реакторами ВВЭР и РБМК [3, 7—11]

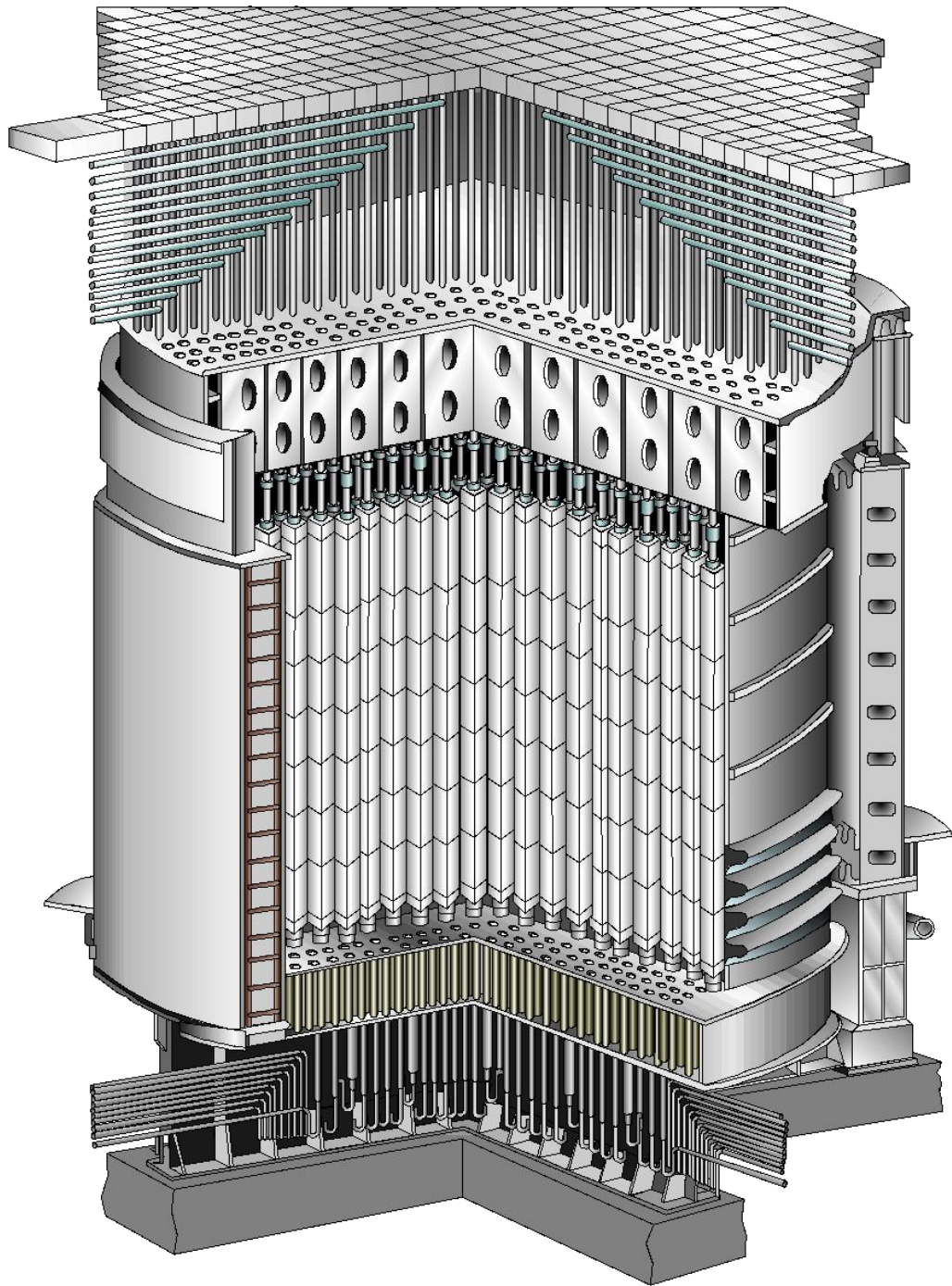
Характеристика	ВВЭР-440	ВВЭР-1000	РБМК-1000	РБМК-1500
Мощность, МВт (эл.)	440	1000	1000	1500
КПД, %	32	33	31,3	31,3
Давление в первом контуре, МПа	12,3	15,7		
Температура теплоносителя, °С:				
на входе в реактор	269	289		
на выходе из реактора	300	322	280*	280*
Масса теплоносителя первого контура, т	200	300	—	—
Загрузка U, т	42	66	192	189
Среднее начальное обогащение U, % ^{***}	3,5	3,3 (4,4)**	1,8	1,8
Количество перегружаемого U, т/год	14	33 (22)**	~ 50* ⁴	~ 75* ⁴
Средняя глубина выгорания топлива, МВт·сут/кг U	28	30 (40)**	18,1	18,1
Корпус реактора:				
высота (без верхней крышки), м	11,8	10,88	—	—
максимальный диаметр, м	4,27	4,57	—	—
масса, т	200,8	300	—	—
Размеры активной зоны, м:				
высота	2,5	3,55	7,0	7,0
диаметр	2,88	3,1	11,8	11,8

* Температура пара перед турбинами.

** Для двухгодичного (трехгодичного) цикла.

*** Первая загрузка реактора имеет меньшее обогащение.

** Рассчитано в предположении, что коэффициент нагрузки АЭС равен 0,8.



Реактор РБМК-1000.

Реактор состоит из набора вертикальных каналов, вставленных в цилиндрические отверстия графитовых колонн, и верхней и нижней защитных плит.

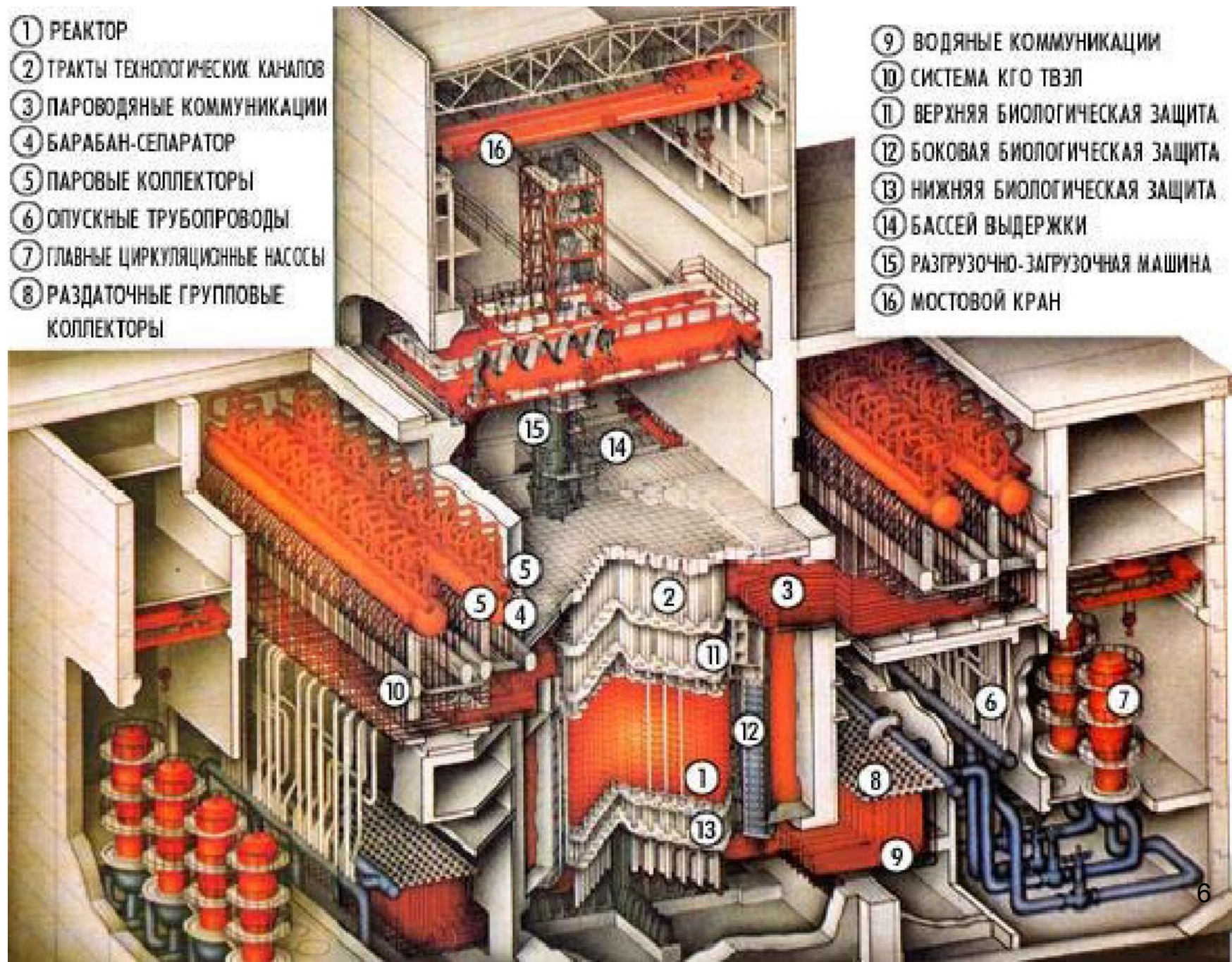
Легкий цилиндрический корпус (кожух) замыкает полость графитовой кладки.

- *Графитовая кладка РБМК-1000.*
- Кладка состоит из собранных в колонны графитовых блоков квадратного сечения с цилиндрическими отверстиями по оси. Кладка опирается на нижнюю плиту, которая передает вес реактора на бетонную шахту.
- Топливные каналы и каналы регулирующих стержней проходят через нижние и верхние металлоконструкции. Приводы регулирующих стержней расположены над активной зоной в районе верхней защитной конструкции реакторного зала.
- Реактор размещен в центральной части блока “А” в бетонной шахте квадратного сечения размером 21,6×21,6×25,5 м (оси 27-31, ряды И-Н).
- По обе стороны ЦЗ симметрично вертикальной плоскости, проходящей через центр реактора и направленной в сторону БВ, расположены помещения основного оборудования : петель ГЦН, БС, шахты опускных трубопроводов, помещения коллекторов ГЦН.
- Над сепараторами размещены паровые коллекторы. Под плитным настилом расположены коммуникации трубопроводов ПВК. Под БС между рядами труб ПВК размещены короба кареток системы КГО.



- ① РЕАКТОР
- ② ТРАКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛОВ
- ③ ПАРОВОДЯНЫЕ КОММУНИКАЦИИ
- ④ БАРАБАН-СЕПАРАТОР
- ⑤ ПАРОВЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ
- ⑥ СПУСКНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ
- ⑦ ГЛАВНЫЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ
- ⑧ РАЗДАТОЧНЫЕ ГРУППОВЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ

- ⑨ ВОДЯНЫЕ КОММУНИКАЦИИ
- ⑩ СИСТЕМА КТО ТВЭЛ
- ⑪ ВЕРХНЯЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА
- ⑫ БОКОВАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА
- ⑬ НИЖНЯЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА
- ⑭ БАССЕЙ ВЫДЕРЖКИ
- ⑮ РАЗГРУЗОЧНО-ЗАГРУЗОЧНАЯ МАШИНА
- ⑯ МОСТОВОЙ КРАН



- Перегрузка топлива в осуществляется с помощью разгрузочно-загрузочной машины (РЗМ), обеспечивающей возможность замены топлива без остановки реактора .
- В РЗМ имеется окруженный биологической защитой (контейнером) герметичный пенал-скафандр, снабженный поворотным магазином с четырьмя гнездами для ТВС и других устройств.
- Скафандр оборудован специальными механизмами для выполнения работ по перегрузке и установлен на тележке мостового крана с пролетом 21 м, перемещающегося по рельсам, проложенным вдоль стен реакторного зала. При перегрузке топлива скафандр уплотняется по наружной поверхности стояка канала, и в нем создается давление воды, равное давлению теплоносителя в каналах.
- В таком состоянии разуплотняется запорная пробка, извлекается отработавшая ТВС с подвеской, устанавливается новая ТВС и уплотняется пробка.
- Во время всех этих операций вода из РЗМ поступает в верхнюю часть канала и, смешиваясь с основным теплоносителем, выводится из канала по отводящему трубопроводу чем обеспечивается непрерывная циркуляция теплоносителя через перегружаемый канал, при этом вода из канала не попадает в РЗМ.

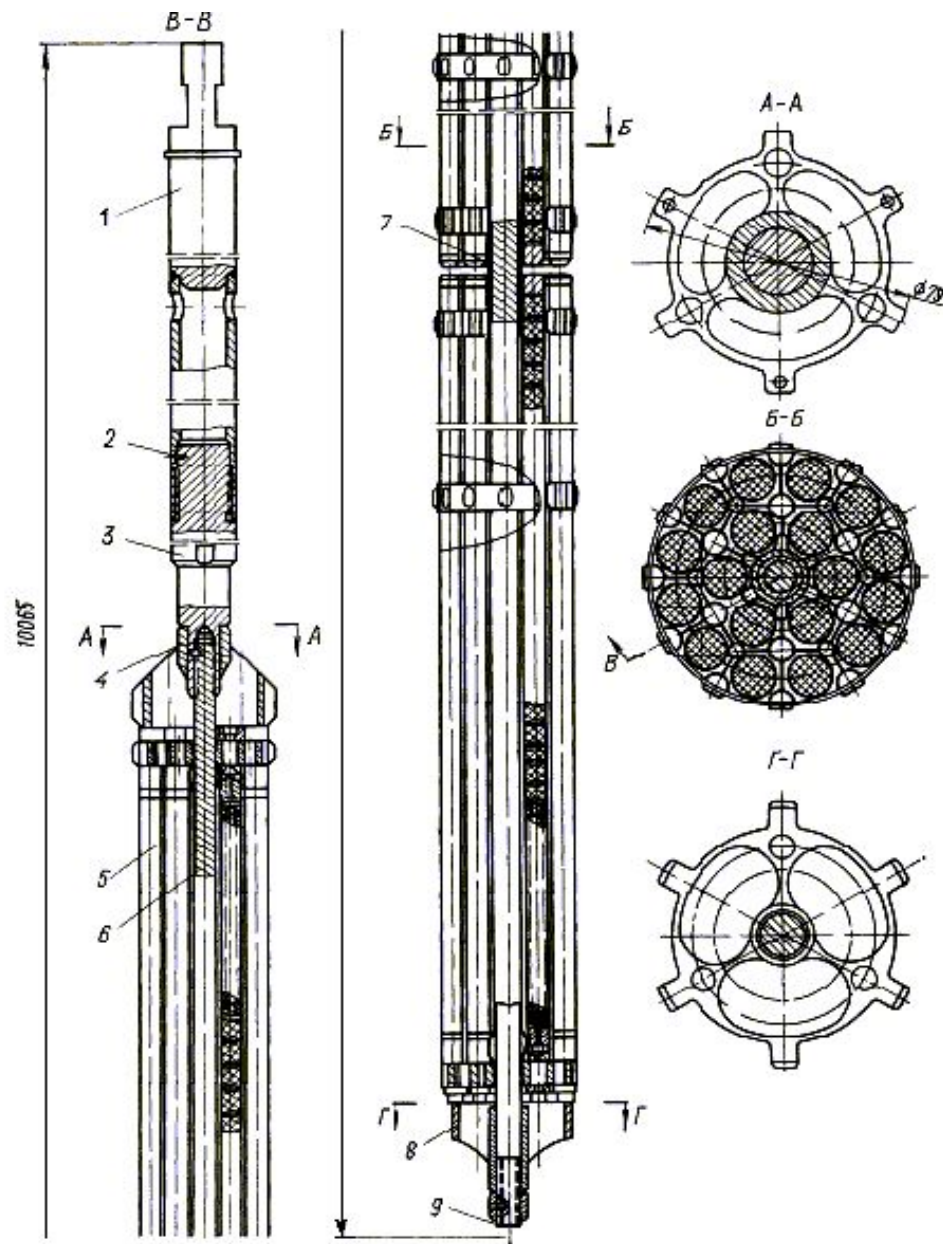
А вот так РЗМ выглядит с близкого расстояния:



Рисунок 4.
Тепловыделяющая кассета

РБМК-1000.

- 1** — подвеска,
- 2** — штифт,
- 3** — переходник,
- 4** — хвостовик,
- 5** — ТВЭЛ,
- 6** — несущий стержень,
- 7** — втулка,
- 8** — наконечник,
- 9** — гайки



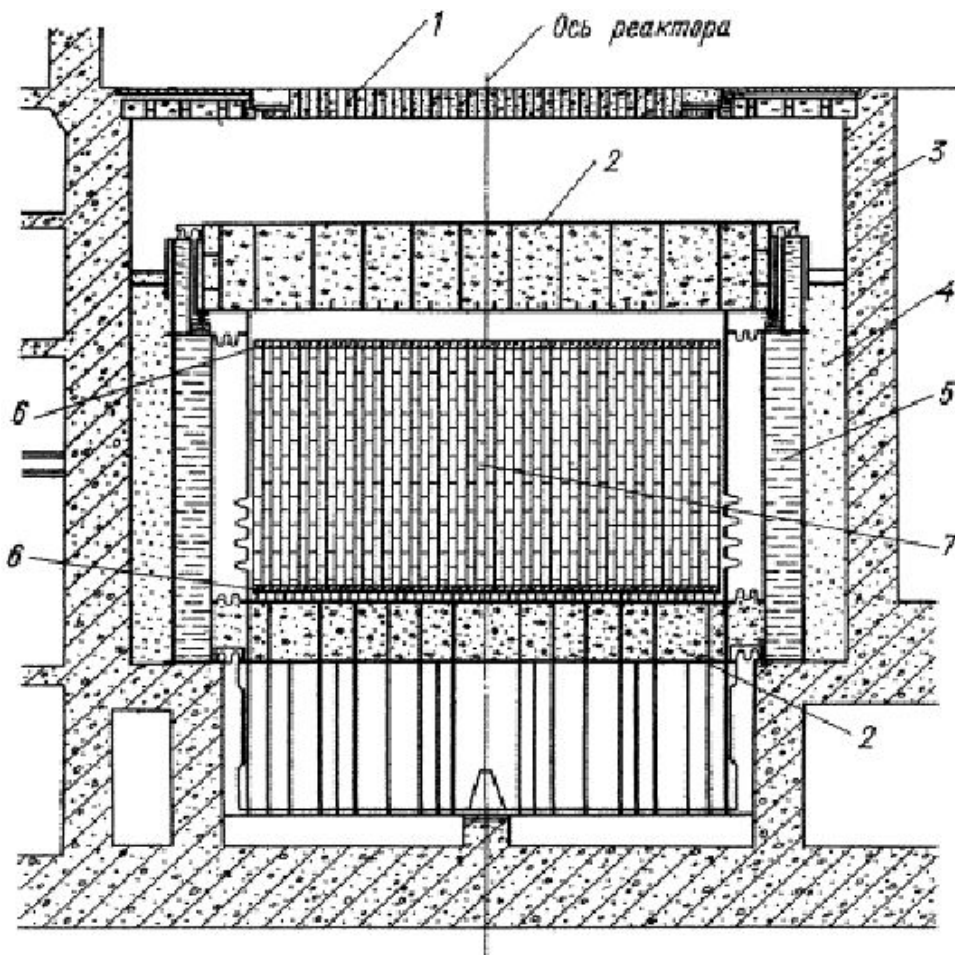
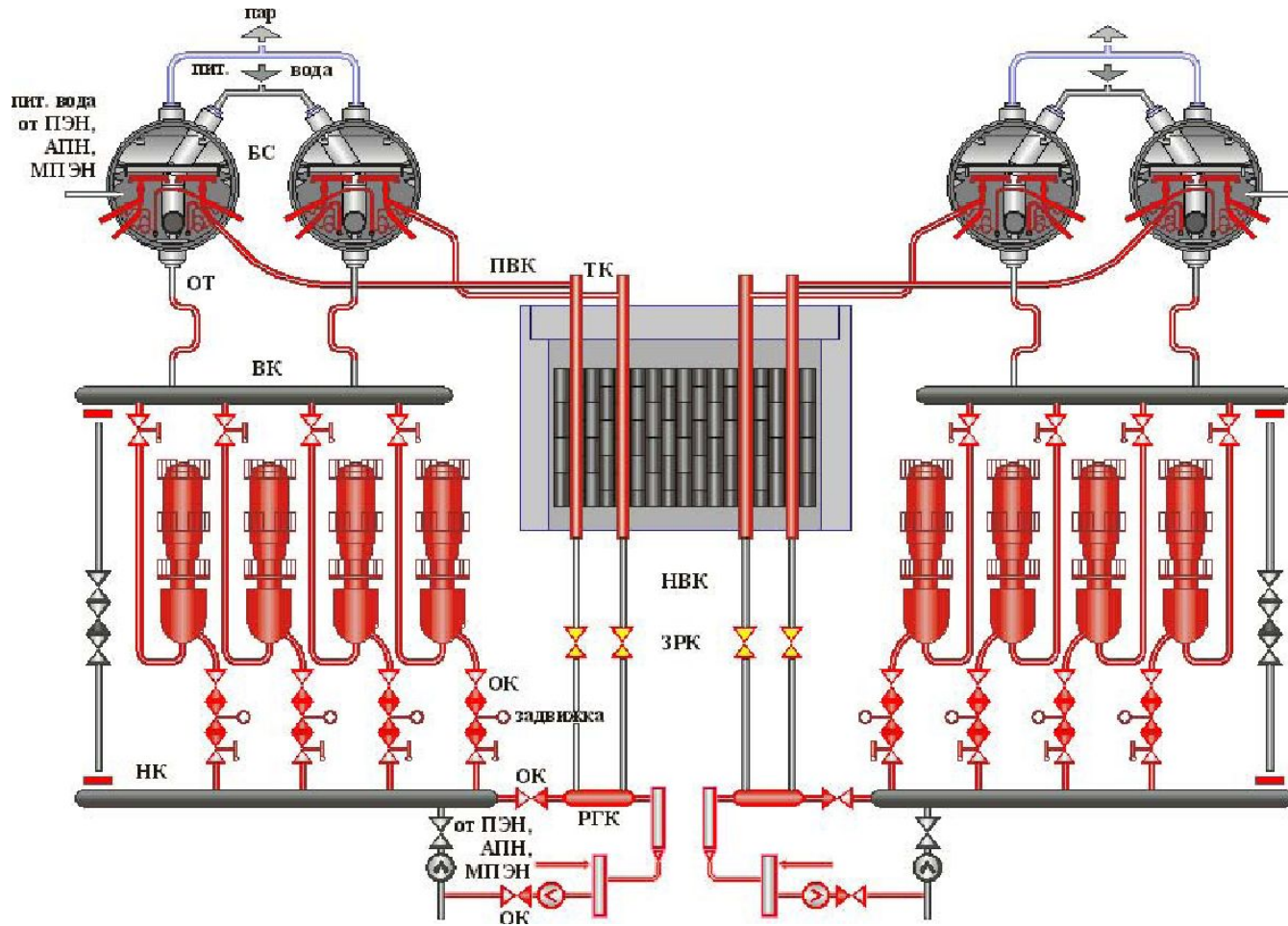


Рисунок 5. Защита реактора РБМК:

- 1** - плитный настил (тяжелый бетон, 4 т/м^3);
- 2** - засыпка серпентинита ($1,7 \text{ т/м}^3$);
- 3** - обычный бетон ($2,2 \text{ т/м}^3$);
- 4** - песок ($1,3 \text{ т/м}^3$);
- 5** - бак водяной защиты;
- 6** - стальные защитные блоки;
- 7** - графитовая кладка.

Принципиальная схема энергоблока



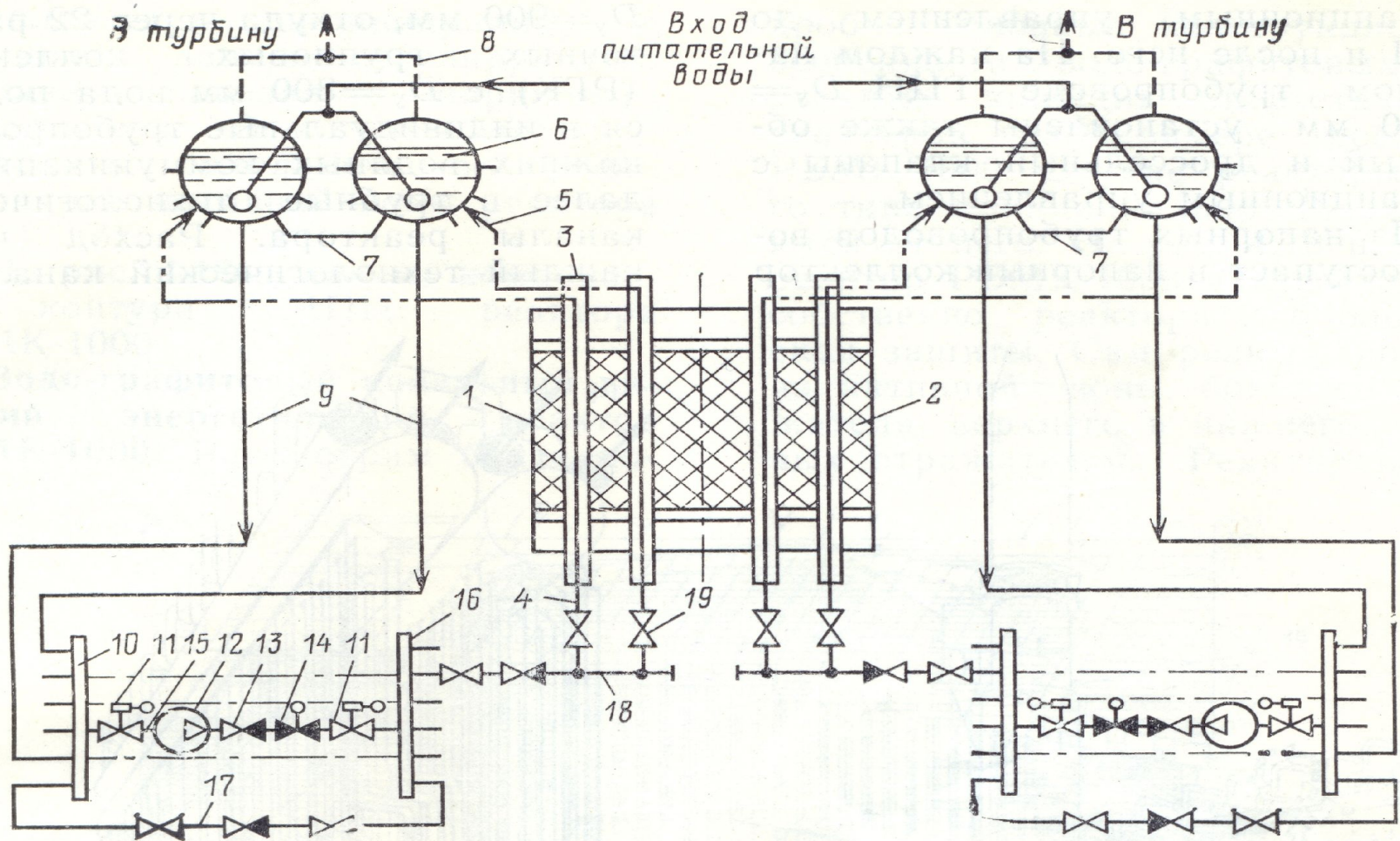


Рис. 4.17. Принципиальная схема контура многократной и принудительной циркуляции ЯППУ с реактором РБМК-1000:

1 — левая половина реактора; 2 — правая половина реактора; 3 — технологический канал; 4 — нижние водяные коммуникации ($57 \times 3,5$ мм, $n=1693$); 5 — пароводяные коммуникации (76×4 , $n=1693$); 6 — барабан-сепаратор ($n=4$), 7 — уравнильный трубопровод по водяному объему ($D_y=300$ мм, $n=4$); 8 — уравнильный трубопровод по паровому объему ($D_y=300$ мм, $n=10$); 9 — опускные трубопроводы ($D_y=300$ мм, $n=48$); 10 — всасывающий коллектор ГЦН ($D_y=900$ мм, $n=4$); 11 — главная запорная задвижка ($n=20$); 12 — ГЦН ($n=8$); 13 — обратный клапан ($n=8$); 14 — дроссельный клапан с дистанционным управлением ($n=8$), 15 — соединительный трубопровод ($D_y=750$ мм, $n=10$); 16 — напорный коллектор ГЦН ($D_y=900$ мм, $n=4$); 17 — байпас между всасывающим и напорным коллекторами ГЦН; 18 — раздаточный групповой коллектор ($D_y=295$ мм, $n=44$); 19 — запорно-регулирующий клапан ($n=1693$)

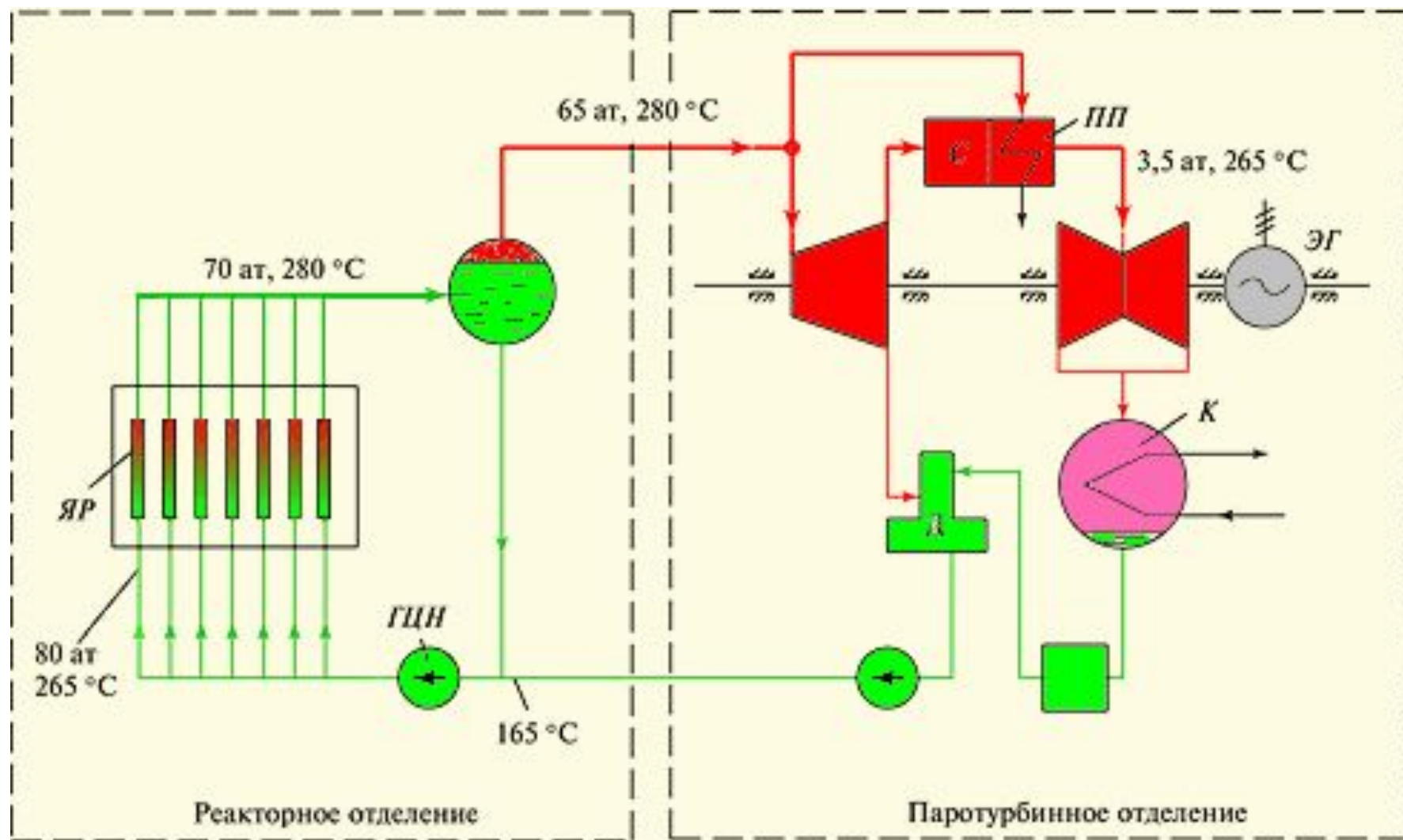


Рис. 5.15. Схема одноконтурной АЭС с каналным реактором РБМК (приведенные цифры относятся к РБМК-1000)

- **Одноконтурной** она называется потому, что и через реактор, и через паротурбинную установку циркулирует одно и то же рабочее тело.
- Питательная вода с помощью ГЦН с параметрами 80 ат и 265 °С из раздаточного коллектора подводится к многочисленным (в РБМК-1000 их 1693) параллельным технологическим каналам, размещенным в **активной зоне реактора**.
- На выходе из каналов пароводяная смесь с паросодержанием 14—17 % собирается в коллекторе и подается в барабан-сепаратор (у РБМК-1000 их четыре).
- Барабан-сепаратор служит для разделения пара и воды. Образующийся пар с параметрами 6,4 МПа (65 ат) и 280 °С направляется прямо в паровую турбину (реактор РБМК-1000 в номинальном режиме питает две одинаковые паровые турбины мощностью по 500 МВт каждая).

- **Пар, получаемый в реакторе и в сепараторе, является радиоактивным** вследствие наличия растворенных в нем радиоактивных газов, паропроводы свежего пара обладают наибольшим радиоактивным излучением. Поэтому их прокладывают в специальных бетонных коридорах, служащих биологической защитой. По этой же причине пар к турбине подводится снизу, под отметкой ее обслуживания (пола машинного зала).
- Пар, расширившийся в ЦВД до давления 0,35 МПа (3,5 ат), направляется в СПП (на каждой турбине энергоблока с реактором РБМК-1000 их четыре), а из них — в ЦНД (на каждой турбине их также четыре) и в конденсаторы. Конденсатно-питательный тракт такой же, как у обычной ТЭС. Однако многие его элементы требуют биологической защиты от радиоактивности. Это относится к конденсатоочистке и водяным емкостям конденсатора, где могут накапливаться радиоактивные продукты коррозии, подогревателям регенеративной системы, питаемым радиоактивным паром из турбины, сборникам сепарата СПП.
- Конденсат, пройдя систему регенеративного подогрева воды, приобретает температуру 165 °С, смешивается с водой, идущей из барабана-сепаратора (280 °С) и поступает к ГЦН, обеспечивающим питание ядерного реактора.

Основные принципы и критерии обеспечения безопасности.

- Основным принципом обеспечения безопасности, положенным в основу проекта реакторной установки РБМК-1000, является ***непревышение установленных доз по внутреннему и внешнему облучению обслуживающего персонала и населения, а также нормативов по содержанию радиоактивных продуктов в окружающей среде при нормальной эксплуатации и рассматриваемых в проекте авариях.***

Комплекс технических средств обеспечения безопасности реакторной установки РБМК-1000 осуществляет выполнение функций:

- **надежного контроля и управления энергораспределением по объему активной зоны;**
- **диагностики состояния активной зоны для своевременной замены потерявших работоспособность конструктивных элементов;**
- **автоматического снижения мощности и останова реактора в аварийных ситуациях;**
- **надежного охлаждения активной зоны при выходе из строя различного оборудования;**

(Продолжение) Комплекс технических средств обеспечения безопасности реакторной установки РБМК-1000 осуществляет выполнение функций:

- **аварийного охлаждения активной зоны** при разрывах трубопроводов циркуляционного контура, паропроводов и питательных трубопроводов.
- **обеспечения сохранности конструкций** реактора при любых исходных событиях;
- **оснащения реактора** защитными, локализирующими, управляющими системами безопасности и отвода выбросов теплоносителя при разгерметизации трубопроводов из реакторных помещений в систему локализации;
- **обеспечения ремонтпригодности** оборудования в процессе эксплуатации реакторной установки и при ликвидации последствий проектных аварий.