

насосом 8 в пространство между каналами, небольшое количество ее проходит через окна 4, расположенные

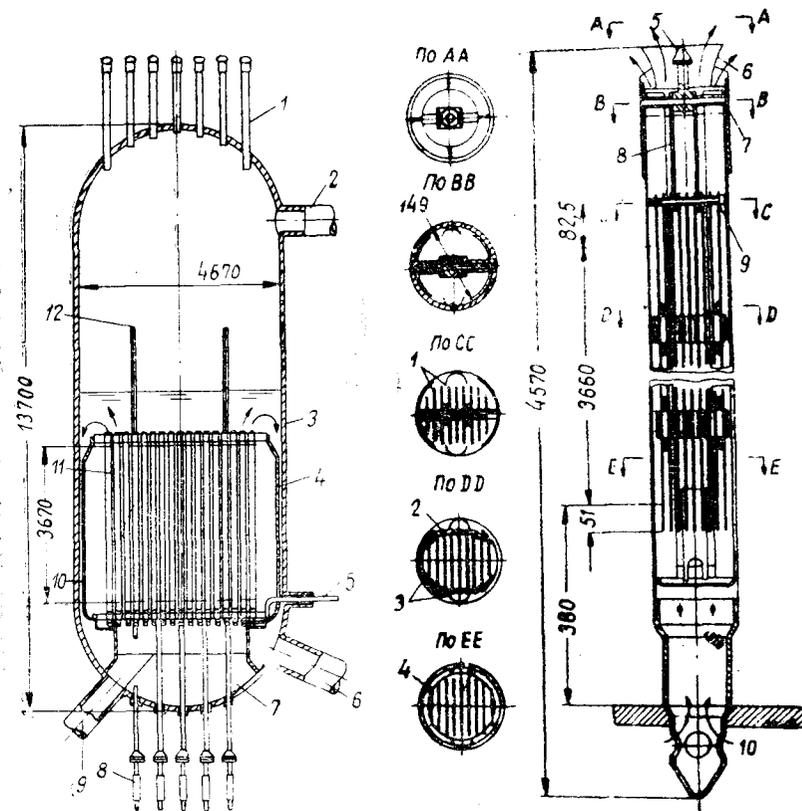


Рис. 108. Разрез кипящего реактора:

1—трубы для загрузки и выгрузки твэлов; 2—выход пара; 3—корпус; 4—кольцевая щель; 5—вход питательной воды; 6—отвод воды к насосу; 7—нижняя защита; 8—привод регулирующих стержней; 9—вход воды от насоса; 10—тепловая защита; 11—сборка твэлов; 12—регулирующие стержни

в верхней части перегородки, и попадает в кольцевое пространство между корпусом и перегородкой. Насосом 10 эта вода перекачивается в пространство 11 нижней части реактора и оттуда через отверстия 9 попадает в каналы.

Рис. 109. Твэл тяжеловодного кипящего реактора:

1—твэл; 2—фиксатор; 3—держатель; 4—чехол сборки; 5—хвостовик подъема; 6—диффузор; 7—подъемное кольцо; 8—зажим; 9—дистанционный болт; 10—нагревательная камера

В каналах вода кипит, и паро-водяная смесь через верхние выходные отверстия 3 канала поступает в паровое пространство 1, где происходит предварительная сепарация пара. Насыщенный пар поступает в сепаратор пара 2 и далее в турбину 5. Разрез „кипящего“ канала реактора показан на рис. 110 б.

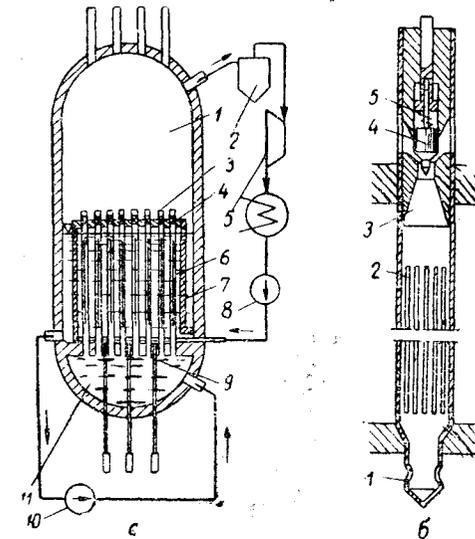


Рис. 110

Вода входит в канал через отверстия 1 и омывает твэлы 2; паро-водяная смесь выходит через отверстие 3, прикрываемое клапаном 4. Расход теплоносителя через клапан регулируется пружиной 5.

С точки зрения конструктивного усовершенствования особый интерес представляет реактор проектируемой АЭС в Ойстер-Крик мощностью 515 Мвт (электр).

На АЭС в Ойстер-Крик будет использована одноконтурная схема, которая позволит создать более компактную установку. Установка не имеет наружной защитной оболочки. Кроме того, в системе регулирующих стержней исключено использование силы тяжести.

Принципиальное устройство реактора показано на рис. 111, а расположение тепловыделяющих сборок

твэлов, регулирующих стержней и поглощающих пластин—на рис. 112.

Реактор является кипящим с принудительной циркуляцией и прямой подачей пара в турбину. В реакторе осуществляется саморегулирование: при изменении расхода воды через активную зону увеличивается, либо уменьшается кипение, что соответственно приводит к увеличению или уменьшению реактивности. Сепараторы пара не имеют движущихся частей и работают на циклонном принципе сепараций. Отсепарированный пар осушается в пластинчатых осушителях, и далее непосредственно направляется в турбину. Отсепарированная вода возвращается в полость, находящуюся снаружи активной зоны, где она смешивается с питательной водой.

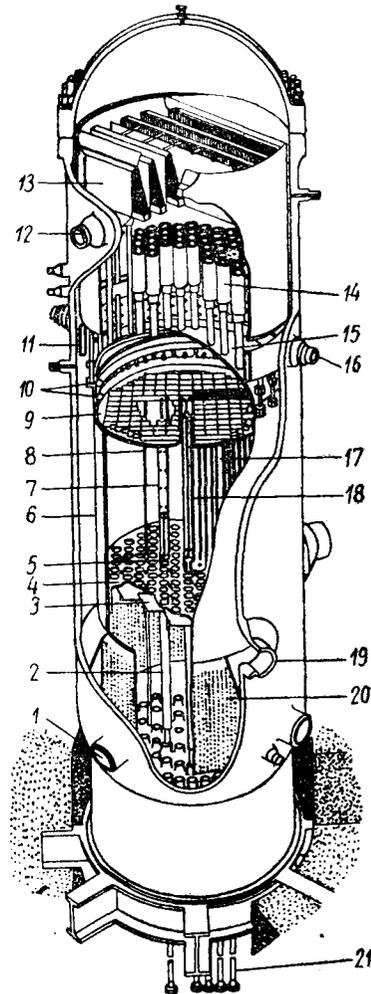


Рис. 111. Реактор АЭС в Ойстер-Крик:

1—вход воды; 2—направляющие трубы регулирующих стержней; 3—нижняя решетка активной зоны; 4—перфорированная плита; 5—опора тепловыделяющей сборки; 6—кожух активной зоны; 7—временная поглощающая пластина; 8—датчик потока нейтронов; 9—верхняя решетка; 10—распылитель активной зоны; 11—разбрызгиватель питательной в дь; 12—выход пара; 13—осушитель пара; 14—сепаратор пара; 15—водоограждающая перегородка; 16—вход питательной воды; 17—тепловыделяющая сборка; 18—регулирующий стержень; 19—выход воды; 20—диффузор; 21—приводы регулирующих стержней

Для охлаждения активной зоны на случай потери теплоносителя служат разбрызгиватели (см. ниже).

При первой загрузке реактора будут использованы только свежие твэлы, поэтому вначале запас реактивности будет велик. Для уменьшения этой реактивности в водяных полостях между тепловыделяющими

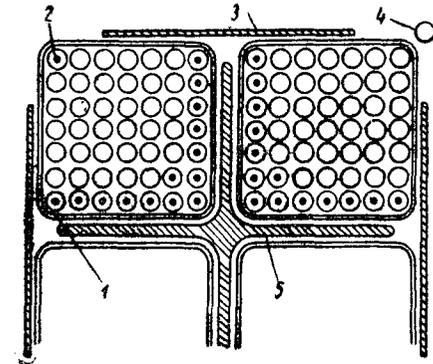


Рис. 112. Ячейка активной зоны реактора в Ойстер-Крик:

1—тепловыделяющая сборка; 2—твэл; 3—временная поглощающая пластина; 4—датчик потока нейтронов; 5—регулирующий стержень

сборками устанавливаются временные поглощающие пластины (см. рис. 112) из бористой стали, которые будут удалены при первой перегрузке реактора. Для контроля за энергораспределением в активной зоне предусмотрен 31 датчик нейтронов. Эти датчики располагаются в местах стыков тепловыделяющихборок.

В ребрах регулирующего стержня находятся трубки из нержавеющей стали с гранулами (зернами) из карбида бора. Выгодно то, что гидравлические приводы стержней находятся снаружи внизу корпуса. Это освобождает верхнюю часть реактора для перегрузочных работ. В отличие от других конструкций с нижним расположением приводов, когда стержни аварийной защиты поднимаются над активной зоной, а в случае аварийной остановки падают вниз под действием силы тяжести, в этом реакторе стержни аварийной защиты вводятся в активную зону гидроприводом снизу, а извлекаются сверху вниз.

Применяемая гидравлическая система, давление в которой (примерно 100 атм) создается конденсатными насосами турбины, обеспечивает большую скорость срабатывания стержней, чем при использовании гравитационной силы.

Как было упомянуто, реактор не имеет наружной защитной оболочки; для локализации аварийных радиоактивных выбросов предусмотрена специальная система, основанная на быстрой конденсации образовавшегося пара, предотвращающей возникновение больших объемов пара в случае разрыва первого контура. Для этого внутреннее пространство железобетонного корпуса реактора соединяется со стальной тороидальной камерой, окружающей корпус в нижней части. Образовавшийся при аварии контур пар попадает в тороидальную камеру, заполненную водой, и конденсируется там. В нормальном состоянии камера заполняется воздухом, находящимся под давлением ниже атмосферного. Имеется система охлаждения для поддержания температуры воздуха на невысоком уровне.

Главное здание реактора служит дополнительной системой локализации радиоактивных выбросов. Воздух помещений главного здания при наличии в нем газообразных радиоактивных выбросов проходит через обрабатывающую установку, а затем выбрасывается в трубу с высокоэффективными фильтрами.

Предусмотрены следующие системы, обеспечивающие нормальную работу реактора:

1. Система очистки теплоносителя и водоподготовки. Часть воды отбирается из контура, охлаждается, деминерализуется и затем возвращается в контур.

2. Система расхолаживания контура, дающая возможность сбрасывать пар в конденсатор турбины, минуя последнюю, в течение 3 часов после остановки. Конденсат пара направляется на охлаждение реактора.

3. Система аварийного охлаждения активной зоны путем разбрызгивания воды, предназначенная для предупреждения расплавления активной зоны в случае ее обезвоживания. Система включает два разбрызгивателя, работающих независимо один от другого. Они включаются автоматически либо по сигналу снижения уровня воды, либо по сигналу повышения давления в наружной полости вокруг реактора.

4. Система стопорящего химического поглотителя (растворы пентоборатов), которая используется в том случае, если обычных регулирующих средств недостаточно. Раствор пентобората натрия находится в баке. При открытии двух независимых клапанов раствор впрыскивается внутрь корпуса реактора.

5. Система охлаждения воды тороидальной смеси. Ниже приводится основная характеристика активной зоны реактора и АЭС в Ойстер-Крик:

Тип—кипящий	Материал пластин—нержавею- щая сталь
Мощность, <i>Мвт</i> электрическая—515 (нетто) тепловая—1600	Теплоноситель—замедлитель
Год выпуска—1967	Выработка насыщенного па- ра—2600 <i>т/час</i>
Активная зона: эквивалентный диаметр— 407 <i>см</i>	Расход воды—27500 <i>т/час</i> Давление—70 <i>атм</i>
описанный диаметр—433 <i>см</i> поверхность теплоотдачи— 4650 <i>м²</i>	Корпус реактора: внутренний диаметр—543 <i>см</i> внутренняя высота—1945 <i>см</i> толщина стенки—18 <i>см</i> материал—углеродистая сталь
Горючее—двуокись обогащенного урана	толщина плакировки (нер- жавеющая сталь)—4 <i>мм</i>
Глубина выгорания горючего, <i>Мвт·сут/т</i> для первой загрузки—16500 в установившемся режиме— 22000	Расчетное давление—88 <i>атм</i> Петли теплоносителя: число— 5
Число тепловыделяющих сборок— 560	Диаметр трубопроводов—66 <i>см</i> Производительность одного насоса—120 <i>м³/мин</i>
Вес сборки—310 <i>кг</i>	Температура питательной во- ды—150° С
Число твэлов в сборке—49	Турбогенератор: число—один
Диаметр твэла—1,45 <i>см</i>	тип—тандемный, шесть выхлопов с промежуточ- ным подогревом пара
Длина активной части—365 <i>см</i>	Давление свежего пара — 68 <i>ата</i>
Материал оболочки—циркалло	Вакуум—2,5 <i>см рт. ст.</i>
Толщина оболочки—0,915 <i>мм</i>	Число оборотов—1800 <i>об/мин</i>
Число регулирующих стержней— 137	Общая мощность—540 <i>Мвт</i>
Материал регулирующих стерж- ней—карбид бора	
Число временных поглощаю- щих пластин—248	

1 января 1964 года вступила в строй на полную проектную мощность 240 *Мвт* (тепл.) и 75 *Мвт* (эл.) АЭС Бик-Рок-Пойнт (США) с кипящим реактором и прямой подачей пара в турбину. Технологическая схема и устройство реактора показаны на рис. 113 и 114. Основная характеристика АЭС приводится ниже.