

Лекція № 15 Компоновка головного корпусу АЕС. Типи компоновок головного корпусу АЕС. Типова компоновка головного корпусу АЕС.

Завдання на СРС. Типова компоновка головного корпусу КЕС.

Типова компоновка головного корпусу ТЕЦ.

Література: [1] с. 258-267; [2] с. 236-283; [3] с. 272-279.

КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА АЭС

Компоновка—это взаимное расположение в строительных конструкциях здания отдельных агрегатов, связанных между собой единым технологическим процессом. Под *главным корпусом (ГК)* понимается здание, в котором располагается основное технологическое оборудование—реактор, парогенераторы, турбины, конденсаторы, электрогенераторы и все вспомогательное оборудование, непосредственно связанное с ними.

Компоновка ГК подчинена *основному гигиеническому принципу подразделения на зоны*. В составе зоны строгого режима ГК имеются помещения необслуживаемые, в которых разрешается только периодическое пребывание людей во время работы реактора. Компоновка ГК должна предусматривать вход в помещения зоны строгого режима только через санпропускник. Для прохода после останова реактора из полуобслуживаемых помещений в необслуживаемые имеется санитарный шлюз. Для доставки материалов, оборудования, приборов и инструментов в зону строгого режима предусматривают отдельные входы и транспортные въезды с механизированной разгрузкой.

В ГК к зоне строгого режима относят:

центральную часть зала с реактором и смонтированным на нем оборудованием,

шахты перегрузки и выдержки,

помещения, в которых располагают оборудование и проходят трубопроводы контура радиоактивной теплоносителя,

помещения, где проводят работы, связанные с вскрытием загрязненного оборудования или сопровождающиеся периодическим загрязнением радиоактивными веществами.

К зоне свободного режима ГК относят операторские щитовые и другие помещения, предназначены для постоянного пребывания людей. Здесь влияние ионизирующей радиации на обслуживающий персонал за шестичасовой рабочий день не превышает допустимых норм.

Маишал двухконтурных и трехконтурных АЭС считается зоной свободного режима, а одноконтурных (с подачей радиоактивного пара) — зоной строгого режима. Вход в помещения зоны свободного режима предусматривают через бытовые помещения обычного типа. Удельная кубатура здания ($\text{м}^3/\text{кВт}$) — один из показателей совершенства компоновки. Увеличение единичной мощности основных агрегатов станции способствует снижению этого значения.

Каркас ГК, воспринимающий все нагрузки от оборудования и передающий их на фундаменты, обычно выполняют в сборном железобетоне. Глубина залегания размеры фундамента определяются свойствами грунта и нагрузками от оборудования с учетом монтажных нагрузок. Колонны каркаса ГК устанавливают с шагом 6

м или 12 м в продольном направлении; в поперечном—расстояние между колоннами определяется пролетом помещения. Через каждые 48—96 м предусматривают температурные швы. Для устойчивости здания в продольном направлении колонны соединяют между собой балками, в поперечном направлении устойчивость обеспечивается ригелями, по верху которых укладывают ребристые плиты, образующие межэтажные перекрытия. Кровельные перекрытия делают из специальных плит, уложенных по фермам. Стеновое заполнение между колоннами выполняют из железобетона или армопенобетонных панелей. Для уменьшения требуемого количества строительных материалов (в особенности дефицитных), сокращения сроков строительства и удешевления строительной части станции площадь и периметр стен, а также высота и объем ГК должны быть минимальными. При этом компактно располагается оборудование, сокращаются длины всех соединительных трубопроводов и облегчается обслуживание однотипного оборудования.

К началу выполнения основных монтажных работ строительные работы должны быть сделаны в максимальном объеме. Одновременно со строительством монтируют оборудование, требующее больших монтажных проемов, — корпус аппарата, *парогенераторы, опоры ГЦН, компенсатор объема, мостовые краны* и др. Для монтажа оборудования, не проходящего в люки и двери, в строительных конструкциях предусматривают временные монтажные проемы.

Выбор типа ГК и компоновка оборудования в нем оказывают большое влияние на надежность и экономичность работы

электростанции, на удобства эксплуатации, условия труда персонала, а также позволяют полностью механизировать и автоматизировать производственные процессы.

Компоновка оборудования в главном здании АЭС должна предусматривать и обеспечивать:

- 1) надежную, безаварийную и безопасную эксплуатацию оборудования и выполнение специальных санитарных норм проектирования и эксплуатации АЭС;
- 2) удобство эксплуатации с наименьшим числом эксплуатационного персонала;
- 3) возможность проведения ремонтных работ в короткие сроки с высоким качеством;
- 4) удобство монтажа оборудования и механизацию всех основных работ;
- 5) наиболее целесообразную связь между цехами главного здания и главного здания с другими объектами станции, а также с подъездными путями.

Удовлетворение этих требований обеспечивается соблюдением для компоновки оборудования *логической последовательности технологической схемы станции*. При этом однотипные элементы располагают так, чтобы обеспечивалась легкость ориентации и правильность действий эксплуатационного персонала, особенно в аварийной обстановке. Взаимное размещение связанных между собой устройств и оборудования должно предупреждать возможность нарушения технологического процесса. Важна доступность оборудования и относящихся к нему коммуникаций для ремонта,

продуманное расположение проходов, лестниц, площадок и подъемно-транспортных устройств. Для монтажа и ремонта оборудования устанавливают грузоподъемные механизмы (мостовые краны, электротали и др.). В машинный зал и реакторный цех вводят железнодорожный путь широкой колеи для транспорта тяжелых частей оборудования. В ГК предусматривают грузовые и пассажирские лифты для подъема на верхние этажи, а также необходимые емкости для соответствующих запасов питательной воды и конденсата и другие баки, необходимые для надежности технологического процесса электростанции.

В ГК располагается *блочный щит управления* (БЩУ). Размещение на нем наглядной схемы оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры для всех параметров основных установок блока, организация рабочих мест и их освещенность должны обеспечивать четкое и легкое управление технологическим процессом. С учетом важности его функционирования на случай возникновения пожара на БЩУ на АЭС сооружается *резервный щит управления* (РЩУ), который не следует располагать вблизи БЩУ.

В непосредственной близости к обслуживаемым агрегатам должна быть обеспечена допустимая (невысокая) температура воздуха. Это необходимо учитывать при компоновке и при трассировке паропроводов.

При расширении АЭС целесообразно принимать для последующих очередей принципиально такую же компоновку, как и для первой, так как эксплуатация однотипного оборудования проще и потому надежнее. Однако сохранение тех же решений, что и для

первой очереди, целесообразно только в том случае, если основное оборудование используется не только того же типа, но той же единичной мощности.

КОМПОНОВКА МАШЗАЛА.

Оборудование турбинного цеха размещают на двух уровнях: наверху—обычно турбину, генератор и возбудитель, внизу—конденсаторы, циркуляционные и конденсатные насосы, регенеративные и прочие подогреватели. В конце машзала оставляют монтажный проем, позволяющий вести ремонтные и монтажные работы внизу (на уровне отметки земли). Конденсационное и вспомогательное оборудование может обслуживаться тем краном, что и турбогенераторы.

Для монтажа и ремонта турбогенераторов машинный зал должен быть оборудован мостовыми кранами с грузоподъемностью, соответствующей весу статора генератора самой тяжелой части турбины, поднимаемой при ремонте, если монтаж статора генератора производится специальным приспособлением.

Машзал может быть с *продольным расположением турбин* относительно его длины. Продольное расположение выполняют только «цугом», т. е. один турбогенератор за другим. Встречное продольное расположение турбин, т. е. размещение с регулирующими органами, обращенными друг к другу, не применяют, так как вспомогательные устройства каждой двух турбин при этом будут иметь зеркальное, а не одинаковое расположение, что может вызвать ошибки эксплуатационного персонала.

Основные размеры машинного зала — *высота, длина и пролет* (ширина). *Длина и пролет* зависят от числа и мощности турбин. Для одних и тех же исходных условий при продольном размещении турбин длина машинного зала больше, а пролет меньше, чем при поперечном расположении. Уменьшение пролета упрощает строительные конструкции, уменьшает массу и размеры мостового крана, улучшает освещенность. При поперечном размещении сокращается длина паропроводов из реакторного (или реакторно-парогенераторного) цеха к головному цилиндру турбины. Расположение паровпуска в сторону реакторного зала, а генератора в сторону фасадной стены машинного зала обеспечивает удобство вывода токопроводов к повышающим трансформаторам.

Максимальный пролет машинного зала равен 54м. Для турбин на насыщенном паре продольное расположение, как правило, предпочтительнее. При определении пролета машинного зала с продольно расположенными турбинами не следует стремиться к предельному уменьшению пролета, так как это вызовет увеличение продольных размеров зала; необходимо учитывать площади для расположения оборудования, проходы для обслуживания, габариты выема трубок конденсатора и выкатки газоохладителей генераторов, габариты выема ротора генератора и др. Пролет машинного зала при поперечном расположении турбин стремятся по возможности уменьшить, особенно для мощных турбин.

Для современных блоков ВВЭР-1000 устанавливают одну турбину, для АЭС с РБМК-1000 и РБМК-1500—по две турбины с расстояниями между их осями 90 м.

Верхний этаж машинного зала называют обычно *турбогенераторным*, нижний — *конденсаторным*. В связи с необходимостью температурных расширений выхлопного патрубка турбины, соединенного с корпусом конденсатора, последний опирается обычно на пружинные опоры (рис. 3). Корпус конденсатора, опирающийся на пружины, в процессе монтажа, подворачивая болты 2, подводят к выхлопному патрубку турбины и приваривают к нему. Затем монтируют установочные планки. В работе при расширении выхлопного патрубка корпус конденсатора опускается и сжимает пружину.

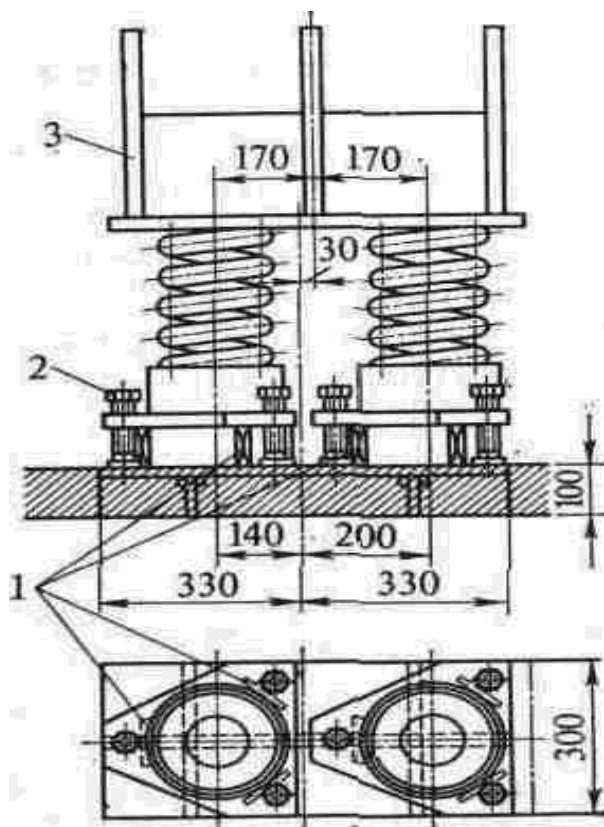


Рис. 3. Пружинная опора конденсаторов при подвальном расположении: 1—установочные планки; 2—отжимные болты; 3—опорная лапа, приваренная к корпусу конденсатора.

Для одноконтурных станций *нижняя (водяная) часть* конденсатора закрывается биологической защитой. Пол конденсаторного помещения находится на уровне планировки земли. В конденсаторном помещении располагают все регенеративные и сетевые подогреватели с приданными им сетевыми, конденсатными и питательными насосами. В верхней части конденсаторного помещения, непосредственно под площадками турбогенератора, прокладывают основные паропроводы, подводящие свежий пар к турбине. Компоновка вспомогательного оборудования (взаимное расположение питательных насосов и подогревателей высокого давления, распределительных паровых коробок и паровпускных органов турбины, подогревателей низкого давления по отношению к фланцам патрубков отбора пара из турбины и других агрегатов) делается с учетом удобства трассировки и компенсирующей способности соединительных трубопроводов.

Оборудование, связанное с внешними выходами (циркуляционные насосы, подогреватели и насосы сетевой воды и т. п.), устанавливают у наружной стены машинного зала. Размещение подогревателей регенеративной системы зависит от расположения турбогенераторов установки.

Для обслуживания вспомогательного оборудования, установленного в конденсаторном помещении, используют мостовой кран машинного зала, причем снимают соответствующие металлические площадки у турбогенераторов. Через конденсаторное отделение проходит также фундамент турбогенераторов. Высота его (отметка площадки обслуживания вокруг турбогенератора)

определяется в основном размерами конденсатора: в зависимости от мощности турбогенераторной установки она составляет 7—12 м. Высота установки мостового крана, а следовательно, и высота всего машзала определяются возможностью транспортировки оборудования на монтажную площадку, также требуемым пространством I выемки трубок вертикальных теплообменных аппаратов. Верхний и нижний этажи машзала у каждой турбины соединяют системой металлических лестниц. В турбогенераторном помещении со стороны паровой турбины для ее обслуживания размещают рабочую площадку с тепловыми щитами и приводами основной арматуры трубопроводов и некоторыми вспомогательными устройствами (пароэжекторная машина и др.). Со стороны электрического генератора оставляют свободное место для электрических выводов генератора, выемки его ротора и установки газового охлаждения.

Для больших выхлопов ЦНД подвальное расположение конденсаторов приводит к значительному изменению проходных сечений для пара при его поступлении в конденсатор. Наибольший выхлоп турбины характерны для мощных (1000 МВт и более) тихоходных машин. Для таких условий может оказаться целесообразным *отказ от подвального расположения* конденсаторов и переход к *боковому расположению*. При этом сечения для входа пара в конденсатор существенно увеличиваются. Компонировочно появляется возможность размещения боковых конденсаторов на двух отметках. При этом каждая часть бокового конденсатора получается более компактной, а включение их последовательно по охлаждающей

воде позволяет при прежнем вакууме второго по ходу воды конденсатора получить в первом по ходу воды и, следовательно, в целом для конденсатора более глубокий вакуум в тех же пределах температур охлаждающей воды. При боковом расположении конденсатора иначе решается и вопрос об опорах конденсаторов. Для одноконтурных АЭС боковое расположение конденсаторов неприемлемо, так как вызывает необходимость подведения под биологическую защиту не только ЦСД, но и ЦНД турбины, т. е. всей турбоустановки.

КОМПОНОВКА РЕАКТОРНОГО И РЕАКТОРНО-ПАРОГЕНЕРАТОРНОГО ЦЕХОВ

Компоновку реакторно-парогенераторного цеха двухконтурных АЭС с ВВЭР выполняют внутри герметичной защитной железобетонной оболочки. Для реактора ВВЭР-1000 диаметр цилиндрической части 47,7 м, высота 67,5 м. В верхней части она перекрыта сферическим куполом. Оболочка обеспечивает совместно с другим оборудованием радиационную защиту в период МПА и биологическую защиту в нормальной эксплуатации. Внутри защитной оболочки герметичных помещений не делают, а сооружают биологическую защиту в основном из железобетона. К ней относятся круговая железобетонная стена толщиной 1—1,5 м между реактором и парогенераторами, перекрытия, стены бассейна выдержки. В настоящее время защитная оболочка сооружается на АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР-440.

Корпус реактора двухконтурной АЭС располагается в железобетонной шахте, герметично отделяющей его от остального оборудования и являющейся не только биологической защитой, но и фундаментом для корпуса. Заглубление реактора в современных компоновках не используется. Это существенно ускоряет и удешевляет строительство, так как не требует рытья котлована. Кроме того, снимается влияние грунтовых вод как в период строительства, так и в эксплуатации, когда грунтовые воды могут проникать в боксы, создавая дебалансовые воды и необходимость их дезактивации. Гидроизоляция становится безнапорной, исключаются работы по дренажу основания.

Для проведения перегрузки топлива между крышкой и верхним защитным колпаком реактора как продолжение шахты реактора образуется *бассейн перегрузки*. В связи с необходимостью съема крышки корпуса для целей перегрузки в реакторно-парогенераторном цехе необходимы мостовой кран и резервирование места, на которое опускается снятая крышка. Второй кран меньшей грузоподъемности используется для всех остальных операций.

В современных компоновках реакторно-парогенераторного цеха АЭС с ВВЭР-440 гидравлическая часть ГЦН опущена под железобетонное перекрытие и установлена на подвижной раме с шариковыми опорами. Там же расположены главная запорная задвижка и главные трубопроводы реакторного контура. Электродвигатель насоса и электропривод главных задвижек размещены выше железобетонного перекрытия. Это позволяет во время работы реактора осматривать верхнюю динамическую часть

насоса, прослушивать работу электроприводов главных задвижек и, если необходимо, демонтировать для ремонта съемную часть (электродвигатель с рабочим колесом) ГЦН остановленной петли.

Реактор РБМК одноконтурной АЭС не имеет единой биологической защиты, так как ее размеры были бы существенно больше, чем у корпусных реакторов той же мощности. Оборудование реакторного цеха для РБМК заключено в систему отдельных бетонных боксов.

ПРИМЕРЫ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОНОВОК АЭС С ВВЭР-1000 И АЭС С РБМК-1000

На рис.4 представлена компоновка АЭС с ВВЭР-1000 и одной турбиной, на рис.5—АЭС с РБМК-1000 и двумя турбинами, на рис.6—продольный разрез по реакторным отделениям двух блоков РБМК-1000 с расположением между ними корпуса СВО. Состав этих компоновок приведен достаточно подробно в подрисуночных подписях. Сравнение рис.4 и рис.5 показывает, что реактор ВВЭР-1000 позволяет выполнить АЭС в меньших строительных габаритах как в целом по станции, так и в отношении герметичных помещений.

Гидроаккумулирующие емкости (рис. 4) располагаются непосредственно в реакторном отделении. Для АЭС с РБМК (рис. 5) это сделать не удастся из-за затеснения компоновки, поэтому они вынесены в отдельное помещение 30, откуда вода при аварии подается к раздаточным групповым коллекторам 20. В помещении 30 находятся также баки «грязного» конденсата, опорожнения и аварийного запаса воды. Для компоновки по рис. 4 эти баки

располагаются в помещении под герметичной защитной оболочкой, т. е. ниже отметки 13.

Для АЭС с ВВЭР вентиляционная металлическая труба расположена на обстройке герметичной оболочки. В обстройке герметичной оболочки в ее разных углах расположено основное оборудование всех вспомогательных систем безопасности. Поэтому в случае падения на АЭС с воздуха больших предметов может быть выведена из строя только одна система с сохранением двух других в работоспособном состоянии. Для АЭС с РБМК-1000 металлическая вентиляционная труба, единая для обоих блоков, расположена на корпусе СВО. Рис. 6 представляет собой разрез по центру реактора по рис.5. Показанные на рис. 5 металлические выхлопные трубы имеют своим назначением выброс в атмосферу пара, который мог бы скопиться в помещении над барабанами-сепараторами при аварийном разрыве одного из расположенных там трубопроводов. Количество этого пара невелико, радиоактивность его очень мала, и такой выброс допустим. Он необходим во избежание повышения давления в негерметичных помещениях и разрушения строительных конструкций.

Для пояснения конструктивного исполнения элементов бассейна - барботера в компоновках АЭС с РБМК, в дополнение к рис.5 и 6, на рис. 7 приведена компоновочно - конструктивная схема (см. 17 на рис. 5). Как это видно из рис. 7, бассейн-барботер оборудован системой труб 4 и 5, имеющих диаметр верхней части 400 мм, а в нижней — 280 мм. Общее число этих труб — 776. Общий объем бассейна барботера 15000 м³. Бассейн - барботер и примыкающие к

нему помещения, обведенные рис.5 утолщенными линиями, представляют собой прочноплотный бокс, рассчитанный на восприятие избыточного давления, равного — 0,33 МПа; на избыточное давление 0,08 МПа рассчитывается прочноплотный бокс, расположенный выше—здесь размещено оборудование, которое может быть источником МПА.

Для АЭС с ВВЭР-1000 на избыточное давление 0,45 МПа при МПА рассчитана герметичная защитная оболочка выше отметки 13,0 (см, рис.4).

Так как АЭС состоит обычно из нескольких блоков, то кроме БЩУ и РЩУ каждого блока на АЭС имеется также *центральный щит управления* (ЦЩУ), на котором размещены наглядные схемы и основные параметры работы всех блоков. С ЦЩУ осуществляется выдача электроэнергии в систему и распределение нагрузки между блоками. Первоначально ЦЩУ располагали в главном здании первого блока. В настоящее время считается более правильным располагать ЦЩУ в самостоятельном здании, отдельно от главных корпусов блоков.

Важными для АЭС являются вопросы пожарной безопасности. Они учитываются не только при разработке генерального плана АЭС, но и при компоновке блоков АЭС, с обязательной установкой систем обнаружения и тушения пожаров. Автоматическое включение последней дублируется дистанционным ее включением со щитов управления: с БЩУ для помещений блоков и с ЦЩУ для прочих помещений.

С точки зрения пожарной безопасности при компоновке особое внимание уделяется установкам:

маслохозяйства турбин и ГЦН (напорные маслопроводы выполняют из бесшовных труб повышенной прочности и с минимальным числом фланцевых соединений);

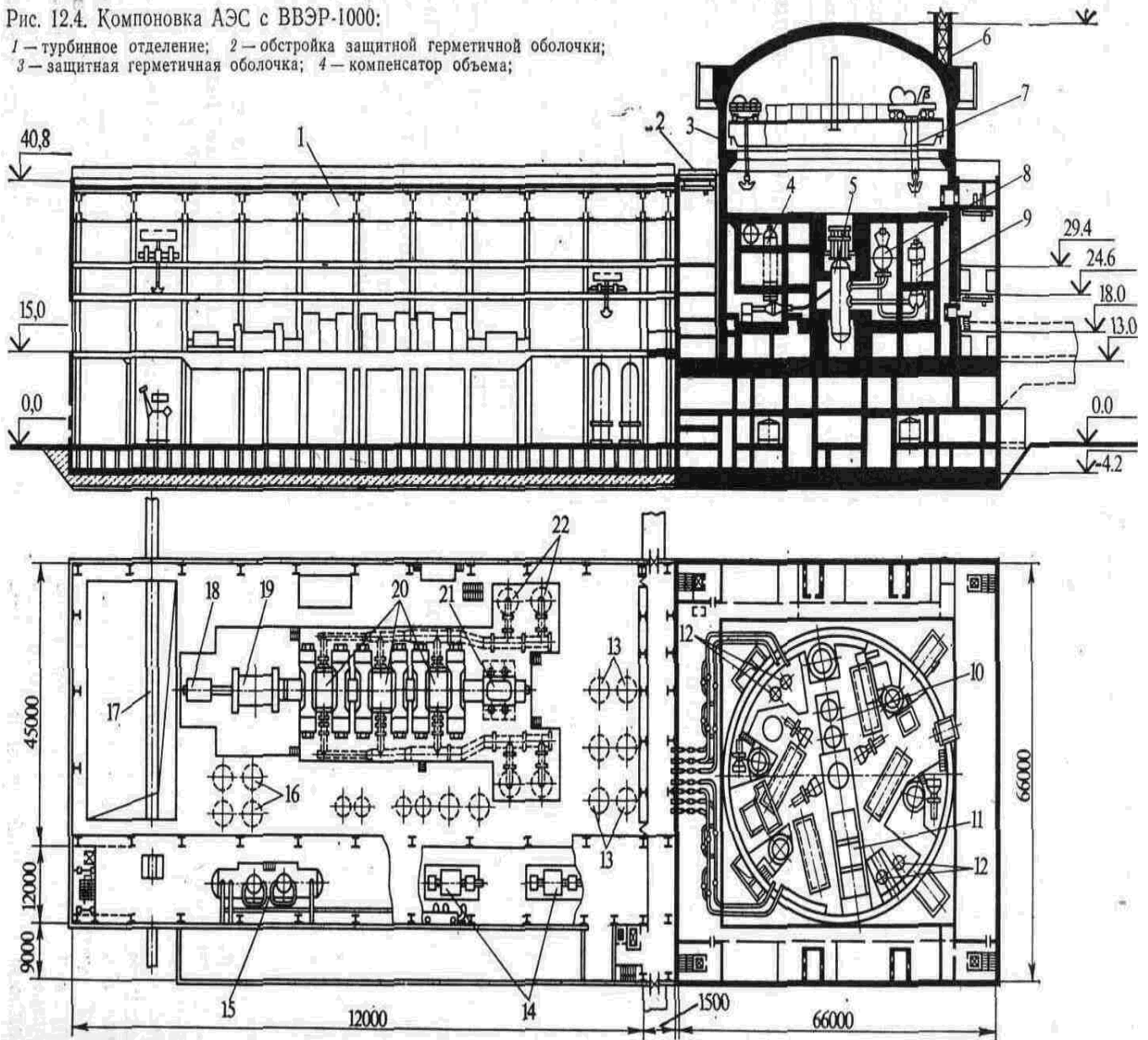
водородного охлаждения электрогенераторов (ресиверы для хранения водорода размещают вне главного корпуса на огражденной площадке, а выпуск водорода в атмосферу производят на высоте не менее 2 м над кровлей машзала);

кабельных помещений; систем обеспечения безопасности. Строительные конструкции двух последних систем, так же как и помещений для регенерации и очистки масла, должны выполняться несгораемыми, с пределом огнестойкости не менее 1,5 ч. Еще более высокие требования по огнестойкости ограждения (не менее 2,5 ч) предъявляются к помещениям, в которых хранятся ядерное) горючее и отвержденные жидкие радиоактивные отходы или находятся фильтры сорбции радиоактивных зольей.

По электропитанию установки автоматического пожаротушения отнесены к первой категории.

Рис. 12.4. Компоновка АЭС с ВВЭР-1000:

1 — турбинное отделение; 2 — обстройка защитной герметичной оболочки;
3 — защитная герметичная оболочка; 4 — компенсатор объема;



5 — реактор с бассейном перегрузки; 6 — вентиляционная труба; 7 — мостовой полноповоротный кран; 8 — парогенератор; 9 — электродвигатель ГЦН; 10 — бассейн выдержки; 11 — транспортно-технологическая часть; 12 — гидроаккумулирующие емкости; 13 — ПВД; 14 — питательные турбонасосы; 15 — деаэратор. 16 — ПНД; 17 — въездные пути; 18 — возбудитель электрогенератора; 19 — электрогенератор; 20 — ЦНД, 21 — ЦСД, 22 — СПП.

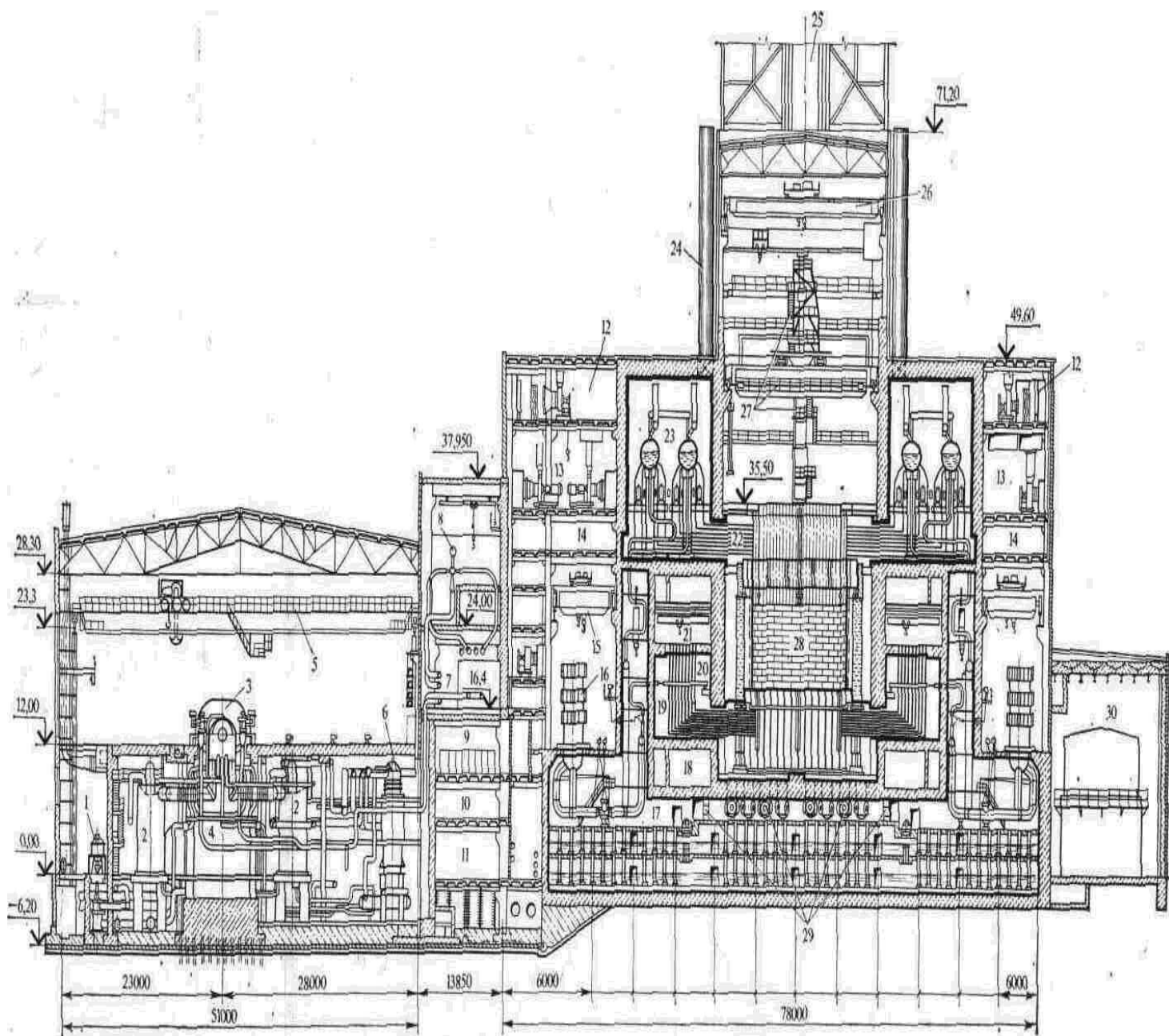


Рис. 5. Поперечный разрез по АЭС с РБМК-1000: 1 — КН первого подъема; 2- СПП; 3— ПТ; 4 — К; 5 — мостовой кран; 6 — ПНД; 7 — трубопроводный коридор; 8— БРУ-К; 9— блочный щит управления (БЩУ); 10 — подщитовое помещение; 11 — помещение распредустройства собственных нужд; 12 — помещение приточных вентиляторов РО; 13 — общий вытяжной вентиляционный центр; 14 — помещение воздуховодов; 15 — кран обслуживания ГЦН; 16 — электропривод ГЦН; 17 — бассейн - барботер; 18— помещение системы охлаждения железобетонных конструкций; 19 — помещение нижних водяных коммуникаций; 20 — раздаточные групповые коллекторы; 21 — помещение обслуживания РГК; 22 — пароводяные коммуникации (ПВК); 23 — барабаны-сепараторы; 24 — стальная выхлопная труба; 25 — стальная вентиляционная труба; 26 — мостовой кран; 27 — разгрузочно-загрузочная машина (РЗМ); 28 — реактор, 29 — группы клапанов бассейна - барботера; 30 — помещение вспомогательных систем РО.

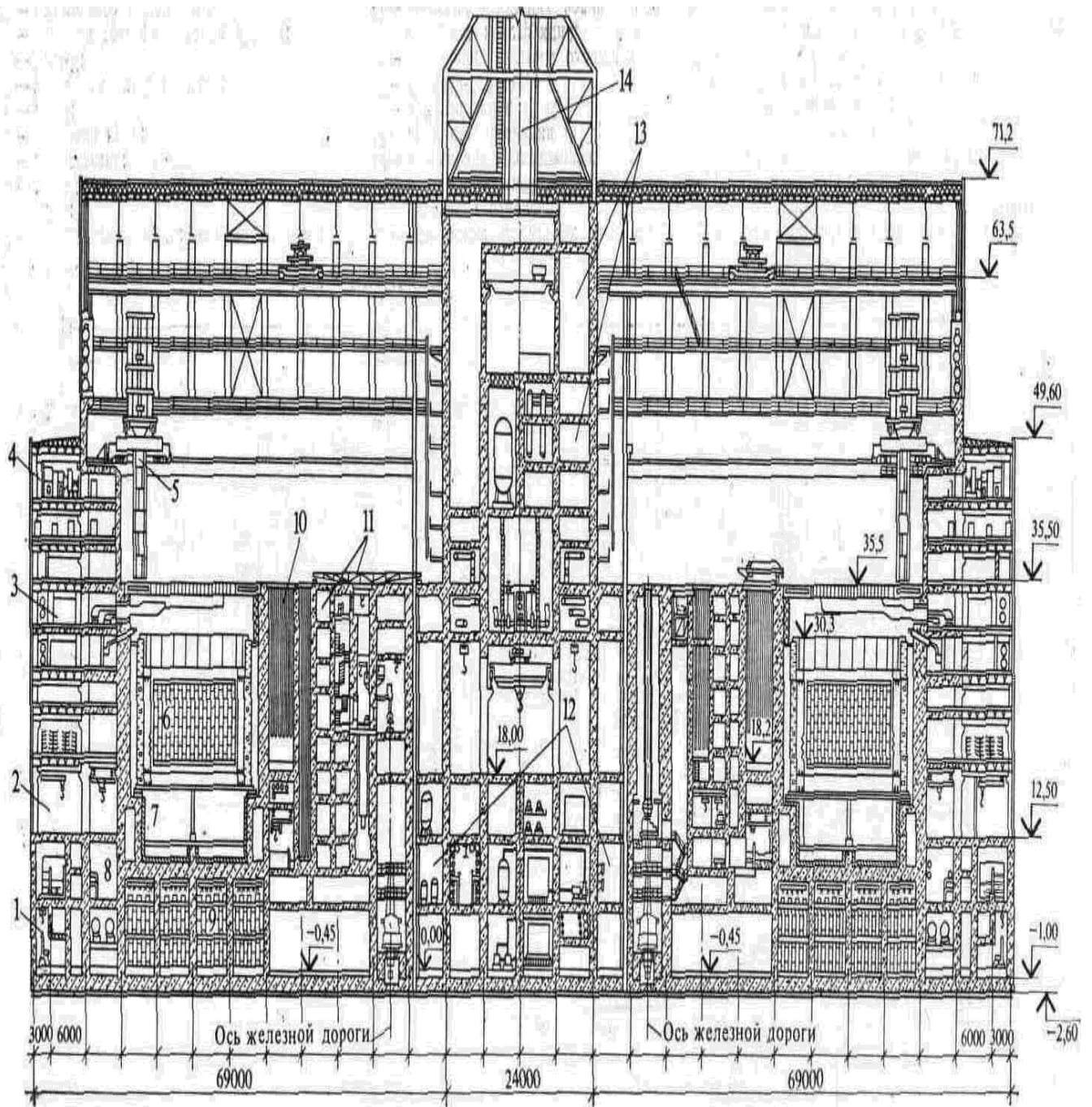


Рис.6. Продольный разрез по реакторному отделению АЭС с РБМК-1000: 1— помещение системы очистки гелия; 2 — транспортный коридор; 3— помещение систем контроля герметичности оболочек твэлов (КГО) и контроля целостности технологических каналов (КЦТК); 4— приточные вентиляторы реакторного отделения; 5— разгрузочно-загрузочная машина (РЗМ); 6 — реактор; 7 — подреакторное помещение; 8— помещение системы охлаждения каналов СУЗ; 9 — бассейн-барботер; 10 — бассейн выдержки ТВС; 11 — транспортно-технологическая часть; 12 — помещения спецводоочисток; 13 — помещения установки подавления активности (УПАК); 14 — вентиляционная труба

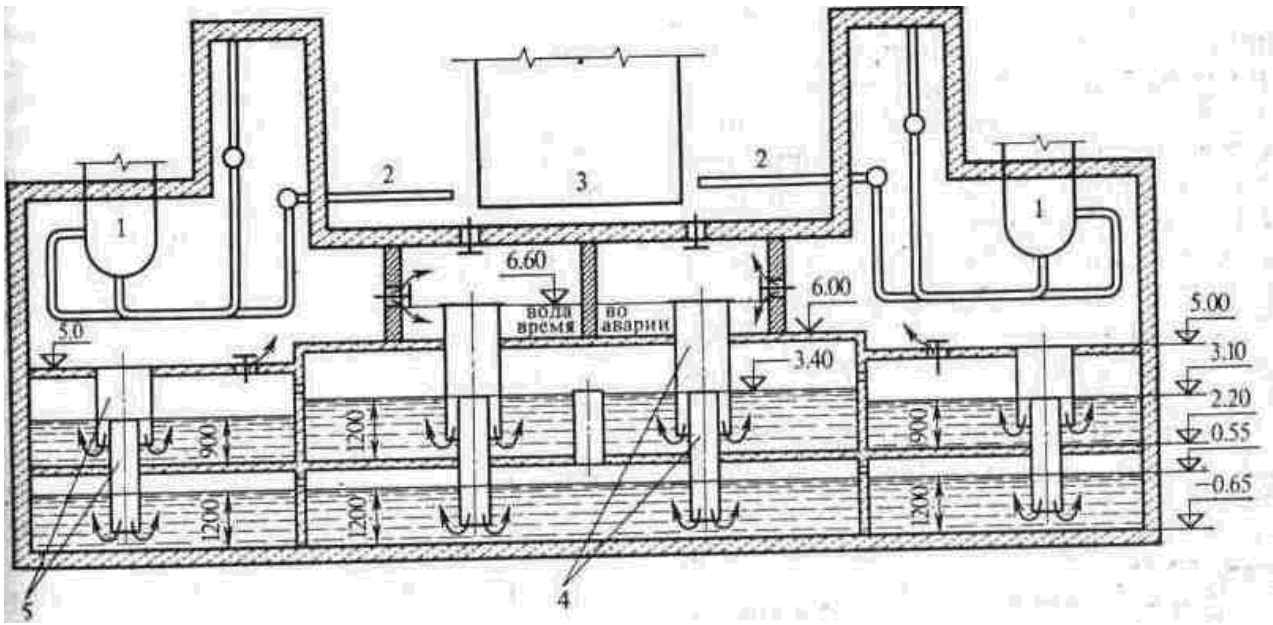


Рис. 7. Компонувочно конструктивна схема конденсационного устройства бассейна - барботера: 1—ГЦН; 2—РГК; 3—реактор; 4, 5 — трубы подачи пара на конденсацию.