

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

И.А. Эстрин

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УСТАНОВОК.
ПРИНЦИПЫ КОМПОНОВКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Учебно-методическое пособие

Ростов-на-Дону
2019

УДК 621.311(07) + 06

Рецензент – доктор технических наук, профессор Т.Л. Риполь-Сарагоси

Эстрин, И.А.

Проектные решения компоновки оборудования теплоэнергетических систем и установок. Принципы компоновки тепловых электростанций: учебно-методическое пособие / И.А. Эстрин; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2019. – 28 с.: ил.

Изложены основные сведения по компоновочным решениям при размещении и проектировании тепловых электростанций. Приведены примеры проектных решений ТЭС, работающих на различных видах топлива. Показаны особенности компоновки ТЭС в различных климатических зонах.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника», изучающих дисциплину «Основы проектирования теплоэнергетических систем».

Одобрено к изданию кафедрой «Теплоэнергетика на железнодорожном транспорте».

Учебное издание

Эстрин Игорь Арнольдович

**ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И УСТАНОВОК.
ПРИНЦИПЫ КОМПОНОВКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Т.И. Исаева

Подписано в печать 21.08.19. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,63.
Тираж экз. Изд. № 5033. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.

© Эстрин И.А., 2019
© ФГБОУ ВО РГУПС, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Расположение и компоновка промышленных ТЭС	4
2 Компоновки главного корпуса ТЭС	14
2.1 Типы компоновок и требования к ним	14
2.2 Компоновка котельного и бункерного отделений. Выбор дымовых труб	20
2.3 Компоновки машинного и деаэрационного отделений	25
2.4 Типовые проекты главных корпусов ТЭС	26
Библиографический список	28

1 РАСПОЛОЖЕНИЕ И КОМПОНОВКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЭС

Сооружение промышленной ТЭС при современном развитии энергосистем экономически оправдывается только при наличии довольно больших тепловых нагрузок или использовании на ТЭС нетранспортабельных вторичных горючих и тепловых энергоресурсов предприятия. Поэтому промышленные ТЭС размещают на территории предприятия или вблизи него по возможности ближе к основным тепловым нагрузкам. Стоимость транспорта тепла, особенно пара, довольно значительна. Поэтому существует предел, далее которого подача тепла от ТЭЦ неэкономична.

Подача горячей воды от промышленных ТЭЦ экономически оправдывается на расстояние до 8–12 км и более. Чем больше тепловая нагрузка и чем дороже топливо, тем больше радиус экономической подачи горячей воды. Транспорт тепла значительно дороже и связан со значительно большими энергозатратами, поэтому целесообразно располагать ТЭЦ возможно ближе к потребителям пара. Подача пара обычно оправдывается экономически при длине паропровода до 3–4 км, а иногда и 6–8 км.

При выборе места для промышленной ТЭЦ необходимо учитывать вопросы водоснабжения, золошлакоудаления (при твердом топливе), а также условия загрязнения воздушного бассейна. ТЭЦ стремятся расположить так, чтобы господствующие в данной местности ветры относили дымовые газы от предприятия и жилых массивов. Если на ТЭЦ используются вторичные энергоресурсы предприятия, необходимо учитывать условия их подачи на ТЭЦ. Существенное значение имеют также вопросы подачи топлива на ТЭЦ, особенно твердого.

В ряде отраслей промышленности вблизи технологических агрегатов располагают крупные силовые установки. Например, возле доменных цехов сооружают паровоздуховные станции (ПВС) с агрегатами единичной мощности до 25 МВт, а при печах объемом 5000 м³ – более 50 МВт. Суммарная мощность работающих турбокомпрессоров (без резерва) доменной печи объемом 5000 м³ и ее кислородной установки составляет около 100 МВт. В таких случаях может быть целесообразной установка теплофикационных турбин на ПВС, что позволит увеличить единичную мощность парогенераторов и снизить капитальные и текущие затраты. Таким образом, выбор оптимального расположения ТЭС зависит от многих факторов и должен определяться комплексным технико-экономическим рассмотрением вопроса.

В состав ТЭС входят следующие сооружения:

а) главный корпус, который состоит из машинного зала, котельной с бункерным отделением, деаэрационного помещения и помещения дымососов, вентиляторов и золоуловителей;

б) служебный корпус, примыкающий к главному зданию или соединенный с ним переходом;

в) главное распределительное устройство со щитом управления (располагается обычно параллельно машинному залу);

г) химводоочистка;

д) пиковые водогрейные и паровые котлы;

- е) градирни или брызгальные бассейны;
- ж) комплекс топливоснабжения – приемные устройства, склады, транспортирующие устройства;
- з) масляное хозяйство;
- и) склады и другие вспомогательные сооружения.

На территории ТЭС должны быть достаточно разветвленные железнодорожные пути и автодороги, рассчитанные на большегрузный транспорт.

По техническим и противопожарным соображениям должны соблюдаться нормы минимальных разрывов между зданиями и сооружениями ТЭС (табл. 1).

Таблица 1

Сооружения	Минимально допустимое расстояние, м										
	Главное здание	Открытая подстанция	Разгрузочное устройство		Открытый склад	Расходный склад	Угледробилка	Градирня	Брызгальный бассейн	Открытый склад масла	Дымовая труба
			Закрытое	Открытое							
Главное здание	–	20	17	20–50	50	50	17	20–40	60–100	20–30	6–12
Повысительная подстанция	20	–	20–30	60–100	60–100	50	20–30	40–60	60–120	30	–
Разгрузочное устройство закрытое	17	20–30	–	–	–	–	–	30	60–120	20	12
Градирня	20–40	40–60	30	40	40	50	20	–	20	30	12
Дымовая труба	6–12	–	12	–	–	–	12	12	–	20	–
Угольный склад открытый	50	60–100	–	–	–	–	17	40	60–120	30	–
Расходный склад торфа	50	50	–	–	–	–	–	50	60–120	50	–
Брызгальный бассейн	60–100	60–100	60–120	60–120	60–120	60–120	40	20	–	40	–
Угледробилка	17	20–30	–	–	17	–	–	20	40	20	12
Склад масел открытый	20–30	30	20	20–50	30	50	20	30	40	–	20
Разгрузочное устройство открытое	20–50	60–100	–	–	–	–	–	20–50	60–120	20–50	40

Пример ситуационного плана, определяющего взаиморасположение отдельных сооружений ТЭЦ, показан на рис. 1. Когда ТЭС располагается на территории предприятия вблизи цехов в стесненных условиях, размещение ее элементов и компоновка главного корпуса могут иметь разнообразные решения. Химводоочистка, циркуляционное водоснабжение, склады топлива, масляное хозяйство и ряд других элементов ТЭС часто объединяют с общезаводскими.

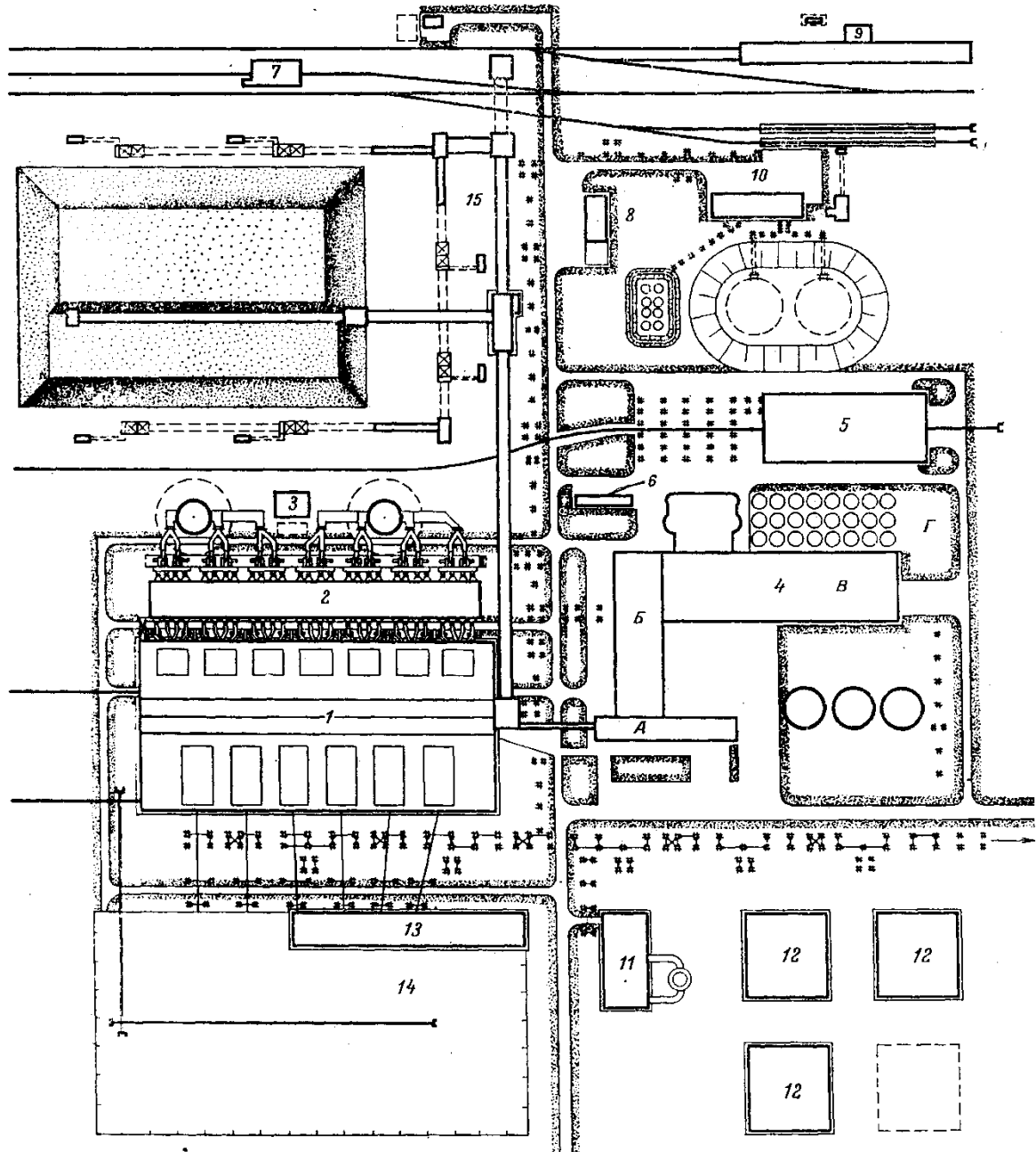


Рис. 1. Пример ситуационного плана ТЭЦ:

1 – главный корпус; 2 – электрофильтры; 3 – багерная насосная; 4 – объединенный вспомогательный корпус. А – административно-бытовой блок; Б – центральные ремонтные мастерские; В – химводоочистка; Г – наружные баки химводоочистки; 5 – прирельсовый склад; 6 – ацетиленовая и кислородная установки; 7 – вагонопрокидыватель; 8 – гараж; 9 – размораживающее устройство (тепляк); 10 – растопочное мазутное хозяйство, объединенное с маслохозяйством; 11 – пиковая котельная; 12 – градирни; 13 – главное распределительное устройство; 14 – открытое распределительное устройство; 15 – топливное хозяйство

Основным показателем использования территории служит коэффициент застройки, равный отношению площади, занятой сооружениями ТЭС, к общей площади, отведенной для ее территории. В среднем этот коэффициент равен 0,4–0,7.

Рациональная компоновка главного корпуса ТЭС имеет большое значение как для снижения первоначальных затрат, так и для надежности и удобства эксплуатации. От компоновки в значительной степени зависят размеры и конструкции здания, удобство монтажа, протяженность внутрисканционных трубопроводов (особенно дорогих главных паропроводов), удобство ремонтных работ, сложность ввода и вывода трубопроводов большого диаметра циркуляционной и сетевой воды, трассировка крупных газопроводов, условия дистанционного управления и автоматизации и т. п.

В итоге длительной практики проектирования, сооружения и эксплуатации ТЭС выработались принципы рациональной компоновки главного корпуса паротурбинных ТЭС в зависимости от мощности электростанции, типа турбин, вида топлива и других факторов. На рис. 2 показаны наиболее распространенные схемы компоновок главного корпуса промышленных ТЭС. Котельная и машинный зал располагаются параллельно друг другу, что способствует уменьшению длины паропроводов.

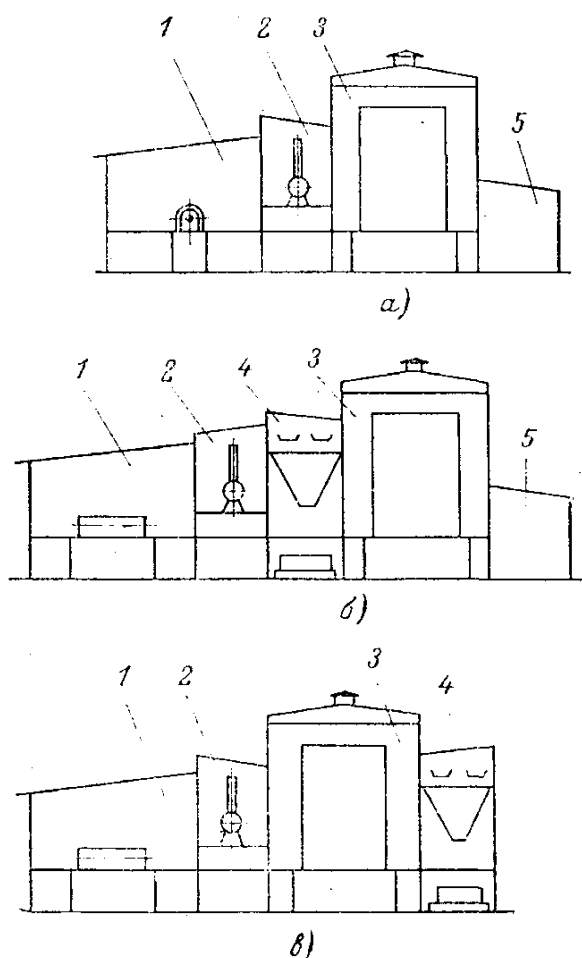


Рис. 2. Схемы компоновок главного корпуса ТЭС:

1 – машинный зал; 2 – деаэрационное помещение; 3 – котельная; 4 – бункерное помещение;
5 – помещение золоуловителей, дымососов, вентиляторов

Между котельной и машинным залом располагается помещение, в котором находятся деаэраторы, резервные баки, паропроводы, РОУ, распределительное устройство собственных нужд, щиты управления и другое вспомогательное оборудование.

При твердом топливе сооружают бункерное помещение, в котором размещают топливные бункера и оборудование систем пылеприготовления (мельницы, сепараторы, питатели, вентиляторы и др.). Бункерное помещение располагают рядом с деаэраторным (рис. 2, б) или с наружной стороны котельной (рис. 2, в). В последнем случае улучшаются условия вентиляции и естественного освещения довольно насыщенным оборудованием пылеприготовления и газопроводами помещений, но ухудшаются условия отвода дымовых газов от парогенераторов, которые выходят в сторону машинного зала. При внутреннем расположении бункерного помещения значительно упрощаются газопроводы от парогенераторов к дымовым трубам, сокращается их длина, удобнее размещать золоуловители, дымососы, дутьевые вентиляторы. При регенеративных (вращающихся) воздухоподогревателях уменьшается пролет здания котельной. Крупные ТЭС в настоящее время строят обычно по такой схеме. Когда топливом служит жидкое топливо или газ, потребность в бункерном помещении, естественно, отпадает.

Дымососы располагают на уровне земли в специальном помещении или на открытом воздухе. Несколько парогенераторов обычно присоединяют к одной дымовой трубе. Пиковые водогрейные котлы устанавливают обычно по другую сторону дымовых труб, в которые отводятся и их дымовые газы. Предусматривают возможность расширения ТЭС (установка нового оборудования), для чего у одной из торцевых сторон главного корпуса сохраняется свободная площадка, а торцевая сторона делается специальной конструкции.

Турбины в машинном зале располагают осями параллельно (рис. 2, а) или перпендикулярно котельной (см. рис. 2, б и 2, в). Целесообразность того или иного расположения зависит в основном от соотношения единичных мощностей парогенераторов и турбин (длина котельной и машинного зала).

На новых крупных ТЭС обычно применяют поперечное расположение турбин, хотя при этом пролет машинного зала значительно больше и достигает до 35–50 м. Машинный зал всегда оборудуют мостовыми кранами с двумя крюками, имеющими разные грузоподъемности (например, 100 и 20 т) и скорость подъема. Основной уровень обслуживания турбин и парогенераторов располагается на отметке 6–9 м (в зависимости от мощности агрегатов). В настоящее время на ТЭС применяют, как правило, «островное» расположение турбин, при котором сплошного перекрытия на этой отметке не делают, а предусматривают только площадки вокруг турбин. Островное расположение позволяет обслуживать краном оборудование, расположенное ниже основного уровня обслуживания. Для удобства трассировки водоводов большого диаметра в машинном зале или другом месте предусматривают монтажную (ремонтную) площадку, которая обслуживается тем же краном. В торце машинного зала предусматривают ворота, через которые можно подавать в помещение в зону досягаемости крана железнодорожные платформы или автотраILERные тележки с оборудованием.

Краны или другие подъемные механизмы устанавливаются и в котельных, а также над дымососами и вентиляторами. В котельных устанавливают грузовые лифты.

В качестве примера компоновки на рис. 3 показан разрез пылеугольной ТЭС с теплофикационными турбинами.

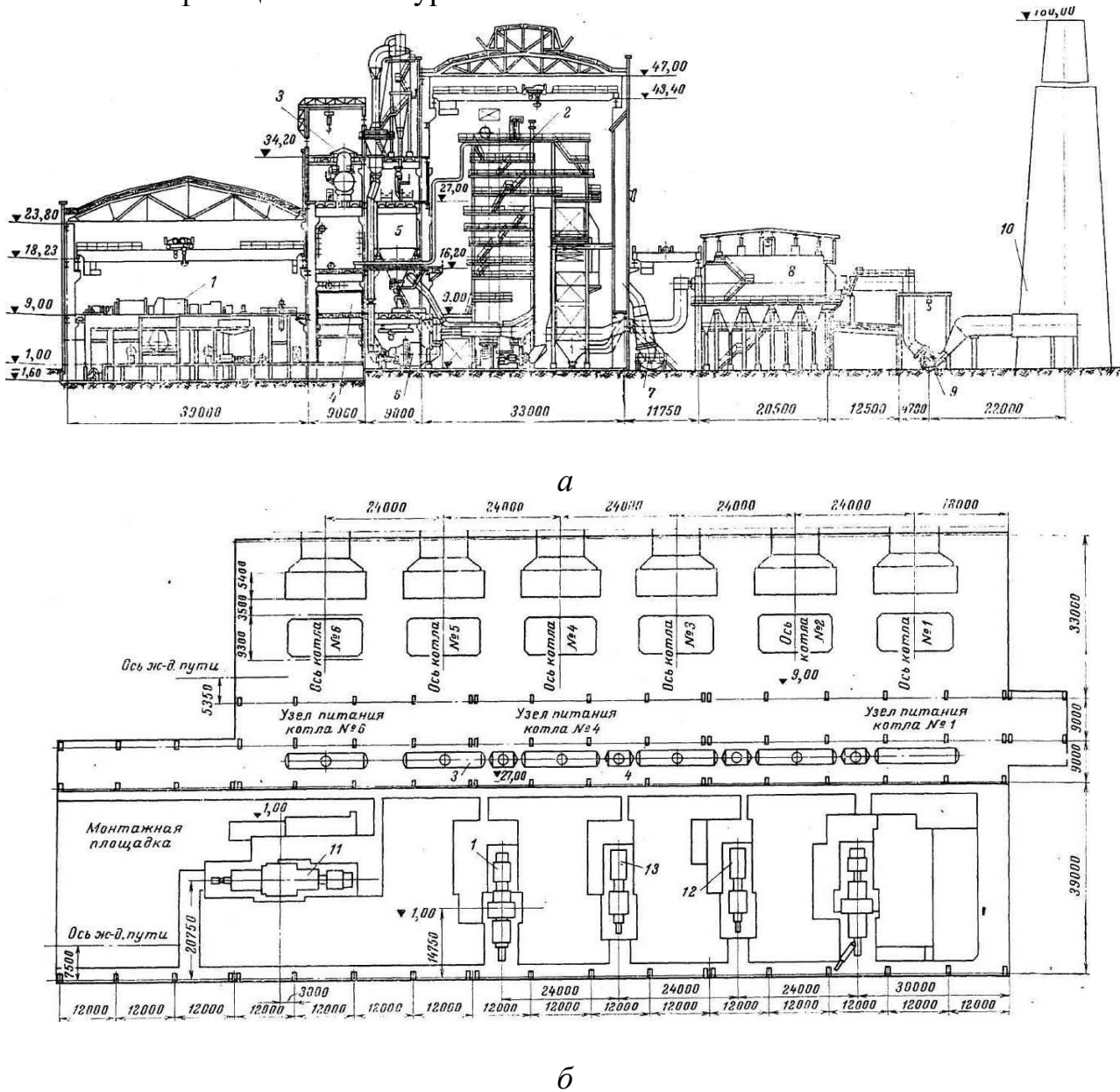


Рис. 3. Компоновка ТЭС с теплофикационными турбинами:
а – поперечный разрез; *б* – план; 1 – турбоагрегат ПТ-60-130-565; 2 – парогенератор Е-420/140; 3 – деаэратор; 4 – групповой щит управления; 5 – бункер сырого угля;
 6 – мельница; 7 – дутьевой вентилятор; 8 – электрофильтр; 9 – дымосос;
 10 – дымовая труба; 11 – турбоагрегат Т-100-135/565; 12 – турбоагрегат Р-50-130/13;
 13 – турбоагрегат ПТ-50-130-7

Главное распределительное устройство располагается, как правило, параллельно машинному залу, что упрощает трассировку выводов электрогенераторов. При благоприятных климатических условиях иногда осуществляют (с целью уменьшения капитальных затрат) открытые или полуоткрытые компоновки, при которых все или часть оборудования устанавливают на открытом

воздухе. В этом случае оборудование (парогенераторы, турбины и др.) должны быть приспособлены к бесперебойной работе на открытом воздухе (дождь, снег, температура ниже 0 °С, сильные ветры с пылью). Это удорожает оборудование. Подъемно-транспортные средства, требующие соответствующих опор и балок, должны сооружаться и при открытых компоновках, поэтому стоимость строительных работ по ТЭС может быть снижена применением открытых компоновок на 4–6 %.

Когда топливом служит газ или мазут (газотурбинные ТЭС), компоновка электростанции существенно упрощается, отпадают бункерное помещение с оборудованием пылеприготовления, ленточные транспортеры, золоулавливающая установка, устройство для золошлакоудаления. Схема компоновки газотурбинной ТЭС показана на рис. 2, а.

С целью индустриализации, ускорения и удешевления монтажа ТЭС разрабатывают проекты ТЭС «повышенной заводской готовности», которым все оборудование поставляется возможно крупными блоками.

По компоновкам парогазовых и газотурбинных ТЭС нет еще установленных решений. Характерной особенностью парогазовых ТЭС с высоконапорным парогенератором (ВПГ), который имеет габариты во много раз меньшие, чем обычные парогенераторы, является возможность установки парогенераторов и турбин в одном помещении; при этом отпадает потребность в отдельной котельной. Примерная компоновка парогазовой ТЭС с ВПГ мощностью около 200 МВт показана на рис. 4.

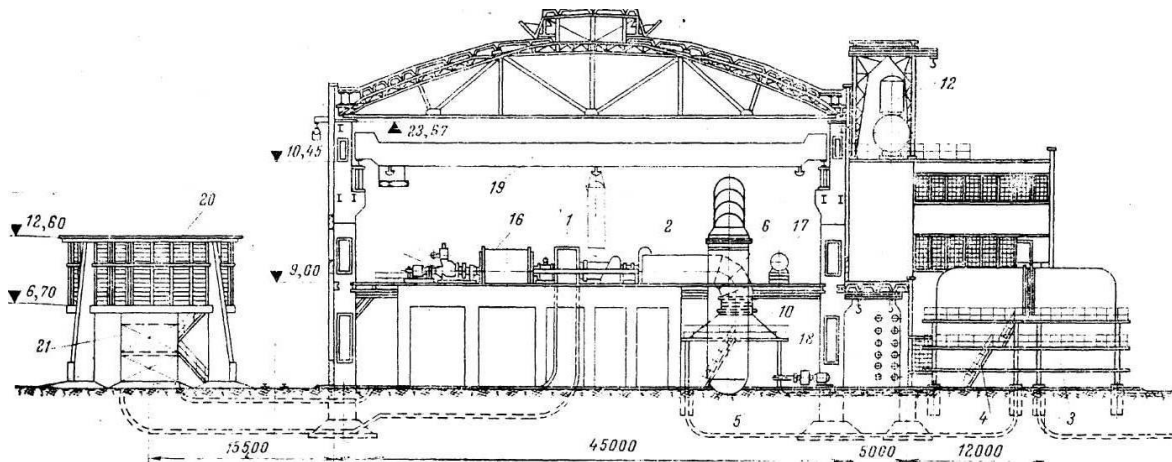
Компоновка газотурбинных ТЭС (Г – ТЭС) определяется следующими особенностями:

1 Каждая ГТУ является законченным блочным агрегатом, потребляющим топливо и вырабатывающим электроэнергию. Соответственно все основное оборудование Г – ТЭС может быть размещено в одном помещении – машинном зале.

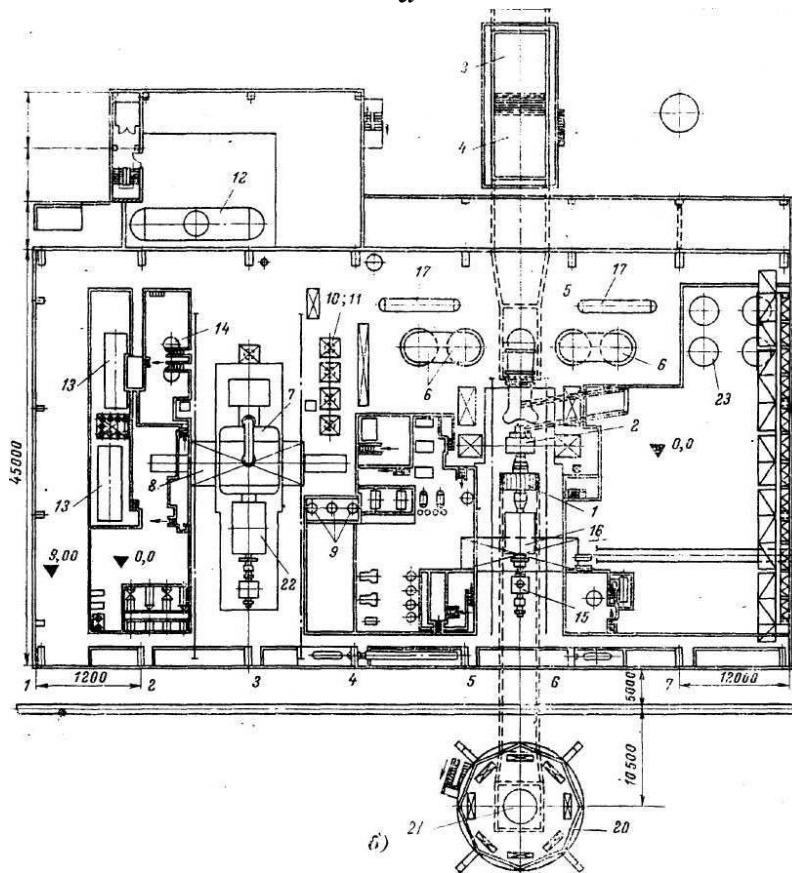
2 ГТУ расходуют большое количество воздуха – от 15 до 30 кг/(кВт·ч) (в зависимости от схемы и параметров), который надо очищать от пыли. Для размещения воздушных фильтров (в среднем 1 м³/ч воздуха) требуются большие площади. При установке у стены машинного зала они занимают почти всю его продольную стену. Поэтому воздушные фильтры часто размещают в отдельном помещении (рис. 4–6).

3 Расход отходящих газов также равен 15 – 30 кг/(кВт·ч) (см. рис. 4–6). На паротурбинных ТЭС он составляет 4,0–4,5 кг/(кВт·ч). Поэтому компоновка машинного зала должна обеспечивать возможность рациональной трассировки воздухо- и газопроводов большого размера с возможно малыми потерями давления в них.

4 Регенеративные подогреватели ГТУ можно размещать на открытом воздухе практически при любых климатических условиях. За пределами здания можно располагать и сетевые подогреватели на выхлопных газах ГТУ, а также парогенераторы с многократной принудительной циркуляцией, при которой барабаны и насосы могут располагаться в отдельном помещении возле машинного зала.



а



б

Рис. 4. Компоновка парогазовой установки 200 МВт (ПГУ-200)
на Невинномысской ГРЭС:

а – разрез; б – план; 1 – компрессор; 2 – газовая турбина; 3 – экономайзер третьей ступени;
4 – экономайзер второй ступени; 5 – экономайзер первой ступени; 6 – высоконапорный
парогенератор ВПГ-450; 7 – паровая турбина К-160-130; 8 – конденсатор; 9 – конденсатный
насос; 10 и 11 – подогреватели низкого давления; 12 – деаэратор; 13 – питательный насос;
14 – подогреватель высокого давления; 15 – пусковая паровая турбина; 16 – генератор ТВФ-
60-2; 17 – барабан-сепаратор; 18 – циркуляционные насосы парогенератора; 19 – мостовой
кран грузоподъемностью 125/20 т; 20 – камера всасывания с масляными фильтрами;
21 – шумоглушители

5 Расход электроэнергии на собственные нужды ГТУ мал и для ГТУ без промежуточных охладителей компрессоров (ПО) обычно не превышает 1 %, а при наличии ПО и установке насосов в машинном зале – 2,5–3,0 %. Поэтому для размещения электрооборудования собственных нужд специальных помещений, как на паротурбинных электростанциях, не требуется.

6 Работа компрессоров ГТУ может сопровождаться значительным шумом. Для борьбы с шумом часто применяют специальные камеры с установленными в них звукопоглощающими матами. Эти камеры располагают на всасывающем тракте после фильтров.

7 Работу, запуск и остановку ГТУ можно сравнительно легко полностью автоматизировать, поэтому, а также для уменьшения воздействия шума на персонал, управление агрегатами целесообразно сосредоточивать в изолированных помещениях.

На рис. 5 показана компоновка Г–ТЭС с ГТУ 100 МВт ЛМЗ (типа ГТ-100-750-2), примененная на Краснодарской ТЭЦ. Агрегат установлен поперек машинного зала пролетом 42 м. Высота фундамента 6,6 м. Отметка подкранового рельса 16,05 м. Грузоподъемность крана 125/20 т. Шаг между соседними агрегатами 24 м.

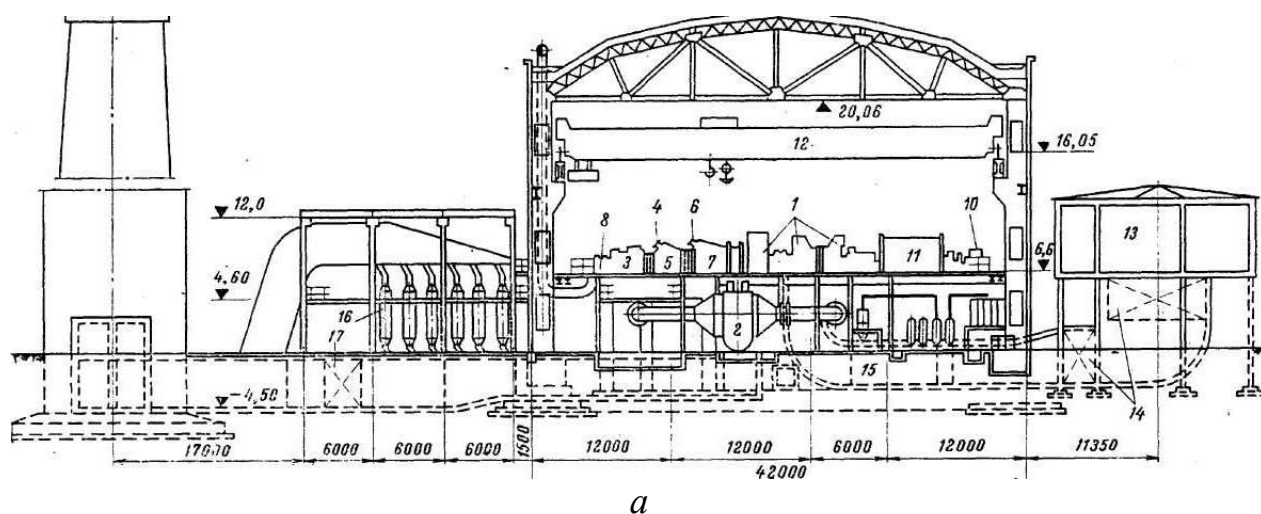
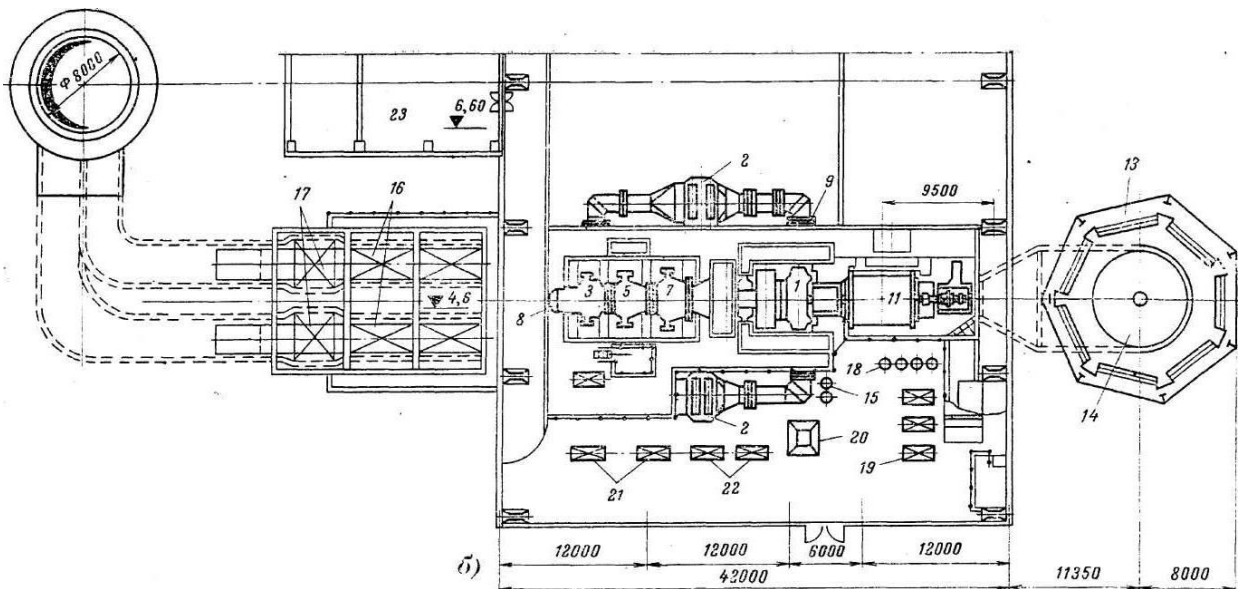


Рис. 5. Компоновка установки ГТ-100-750-2 на Краснодарской ТЭЦ (начало):
a – разрез; 1 – компрессор низкого давления (КНД) мощностью 80 МВт; 2 – промежуточный воздухоохладитель; 3 – компрессор высокого давления (КВД) мощностью 110 МВт; 4 – камера сгорания высокого давления (КСВД); 5 – турбина высокого давления (ТВД) мощностью 110 МВт; 6 – камера сгорания низкого давления (КСНД); 7 – турбина низкого давления (ТНД) мощностью 180 МВт; 8 – пусковая турбина; 9 – компенсаторы; 10 – возбуждители генератора; 11 – генератор ТВФ-100-2 мощностью 100 МВт; 12 – мостовой кран грузоподъемностью 125/20 т; 13 – всасывающая камеры; 14 – шумоглушители; 15 – масляный насос регулирования; 16 – подогреватели сетевой воды; 17 – место установки глушителей; 18 – маслоохладители; 19 – масляные насосы; 20 – маслобак системы регулирования; 21 – циркуляционные насосы; 22 – насосы газоохладителей; 23 – помещение блочного щита управления (БЩУ)



б

Рис. 5. Компонировка установки ГТ-100-750-2 на Краснодарской ТЭЦ
(окончание):

б — план

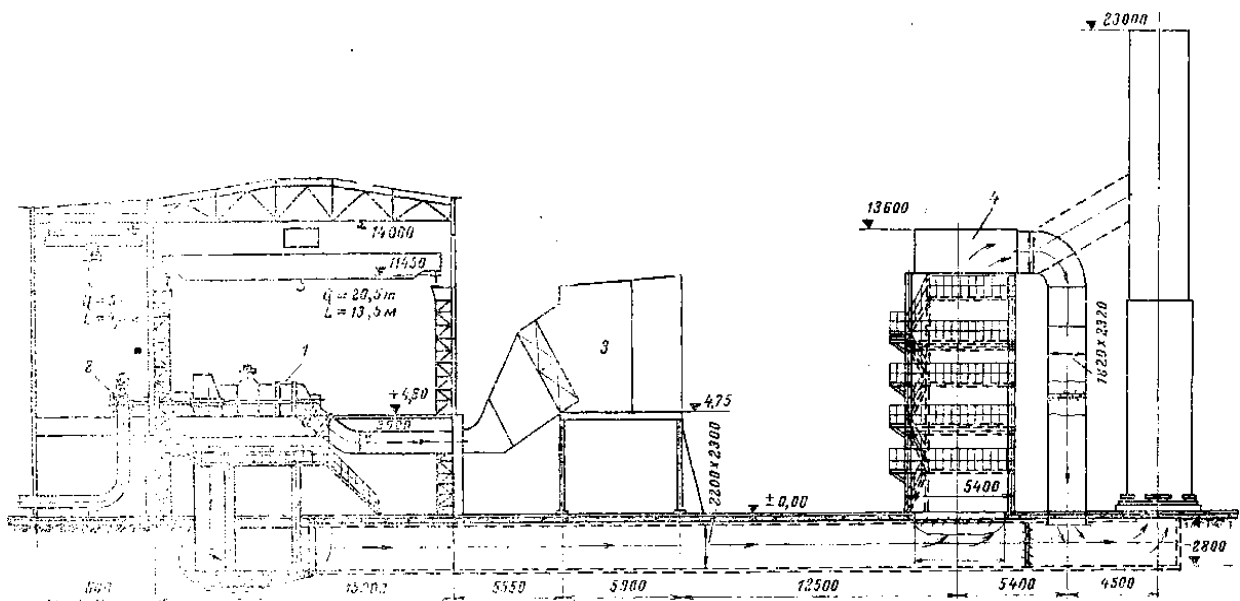


Рис. 6. Компонировка ГТУ типа ГТ-6-750 на компрессорной станции
магистрального газопровода:

1 — ГТ-6-750; 2 — нагнетатель природного газа; 3 — воздухозаборное устройство;
4 — парогенератор на отходящих газах (змеевикового типа)

2 КОМПОНОВКИ ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

2.1 Типы компоновок и требования к ним

Размещение оборудования в главном корпусе, т. е. его компоновка, зависит от типа электростанции (ТЭЦ или ГРЭС), вида сжигаемого топлива, мощности основного оборудования, состава вспомогательного оборудования, климатических условий.

На неблочных пылеугольных электростанциях оборудование главного корпуса размещается в четырех отделениях: котельном, бункерном, деаэрационном и машинном (рис. 7, 8). Турбины ТЭЦ мощностью 50 МВт и выше размещаются поперек машинного отделения, а меньшей – вдоль (цугом).

На блочных пылеугольных ГРЭС бункерное и деаэрационное отделения объединены в одно бункерно-деаэрационное отделение (рис. 9). Это обусловлено следующим:

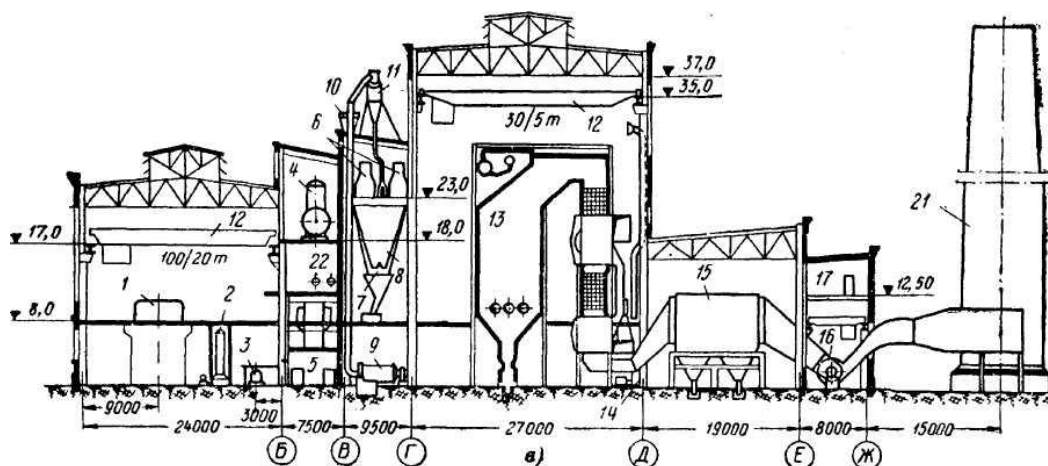
а) у блоков запас воды в деаэраторах, а следовательно, и размеры последних меньше, чем у неблочных установок, на блочных ГРЭС также отпадает необходимость в выделении специального помещения для прокладки поперечных связей;

б) укрупненное вспомогательное оборудование турбин и котлов большой мощности имеет меньшие удельные размеры, чем вспомогательное оборудование более мелких агрегатов;

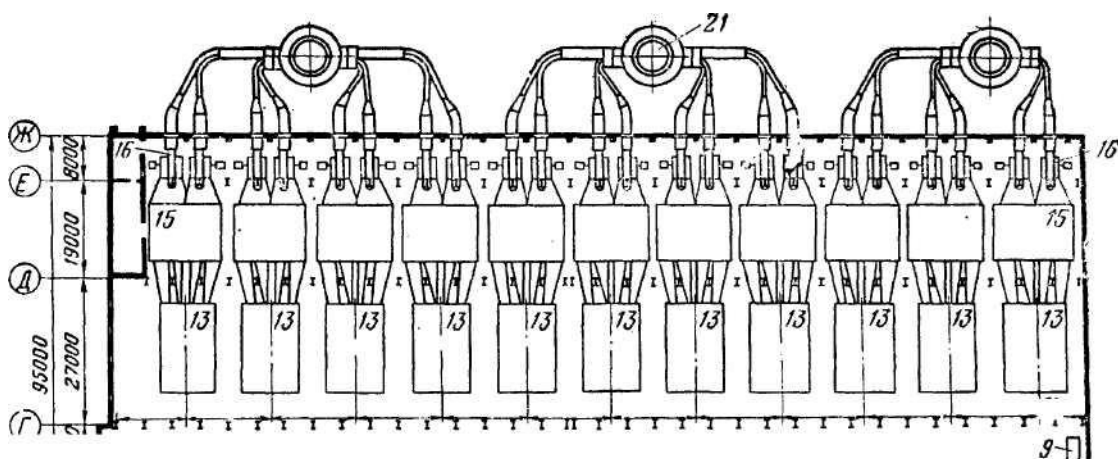
в) вспомогательное оборудование на ТЭЦ по сравнению с ГРЭС такой же электрической мощности имеет большую производительность из-за большей тепловой мощности основного оборудования.

Благодаря этому мощное вспомогательное оборудование блочных ГРЭС удается разместить в одном объединенном отделении, поперечного и деаэрационного отделений неблочных ГРЭС и ТЭЦ.

Турбины мощностью до 500 МВт на блочных ГРЭС размещают поперечно, а мощностью 800 МВт (одновальные) и более – продольно из-за большой их длины. Для поперечного размещения турбины К-800-240-11 требуется машинный зал с поперечным размером около 65 м, что технически трудно осуществимо (максимальный поперечный размер машинного зала действующих ГРЭС – 45 м, а для турбины К-500-240 по проекту – 54 м). По типу блочных ГРЭС komponуются в ряде случаев неблочные установки с турбинами К-100-90.



а



б

Рис. 7. Компонка главного корпуса пылеугольной ГРЭС
с поперечными связями:

а – поперечный разрез; б – план; 1 – турбина К-100-90; 2 – регенеративные подогреватели; 3 – питательные насосы; 4 – деаэратор; 5 – РУСР; 6 – конвейеры топливоподдачи; 7 – бункер угля; 8 – бункер пыли; 9 – углеразмольная мельница; 10 – сепаратор; 11 – циклон; 12 – мостовые краны; 13 – паровой котел $D = 230$ т/ч; 14 – дутьевой вентилятор; 15 – электрофильтр; 16 – дымосос; 17 – РУ электрофильтров; 18 – турбонасос; 19 – деаэратор 0,118 МПа; 20 – бак питательной воды; 21 – дымовая труба; 22 – трубопроводы

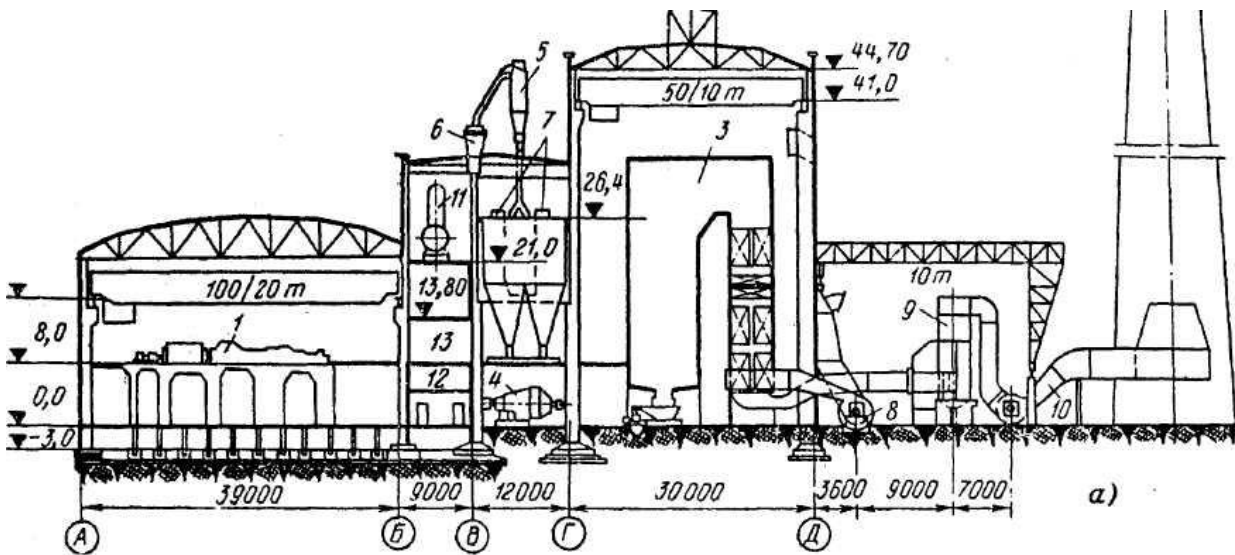


Рис. 8. Компоновка главного корпуса пылеугольной ТЭЦ;

- а* – поперечный разрез; 1 – турбина ПТ-60-130/10; 2 – турбина Р-25-130/18;
 3 – котлоагрегат $D = 420$ т/ч; 4 – углеразмольные мельницы; 5 – циклон; 6 – сепаратор;
 7 – конвейеры топливоподдачи; 8 – дутьевой вентилятор; 9 – золоуловитель; 10 – дымосос;
 11 – деаэратор; 12 – РУСР; 13 – помещение теплового щита; 14 – деаэратор теплосети;
 15 – питательные электронасосы; 16 – подогреватели сетевой воды;
 17 – питатели сырого угля

На газомазутных ТЭС всех типов имеется три отделения: котельное, деаэраторное и машинное (рис. 10). Расположение турбин, как и на пылеугольных электростанциях, зависит от их типа и мощности.

Размещение деаэраторного или бункерно-деаэраторного отделения между котельным и машинным является компоновочно удобным, поскольку в этом отделении находится оборудование, тяготеющее одновременно и к котлам, и к турбинам. Деаэраторное и бункерно-деаэраторное отделения сооружаются в виде этажерки, образующей пространственную раму, на которую передаются горизонтальные усилия, действующие поперек здания (от ветра и от торможения мостовых кранов). Колонны наружных стен, образующие плоскую продольную раму, такие усилия воспринимают плохо.

Компоновка оборудования в здании называется закрытой. При благоприятных климатических условиях оборудование может устанавливаться на открытом воздухе и иметь лишь местные укрытия (рис. 11). Такие компоновки называются открытыми. Если вне здания размещен только котлоагрегат, то компоновка называется полуоткрытой.

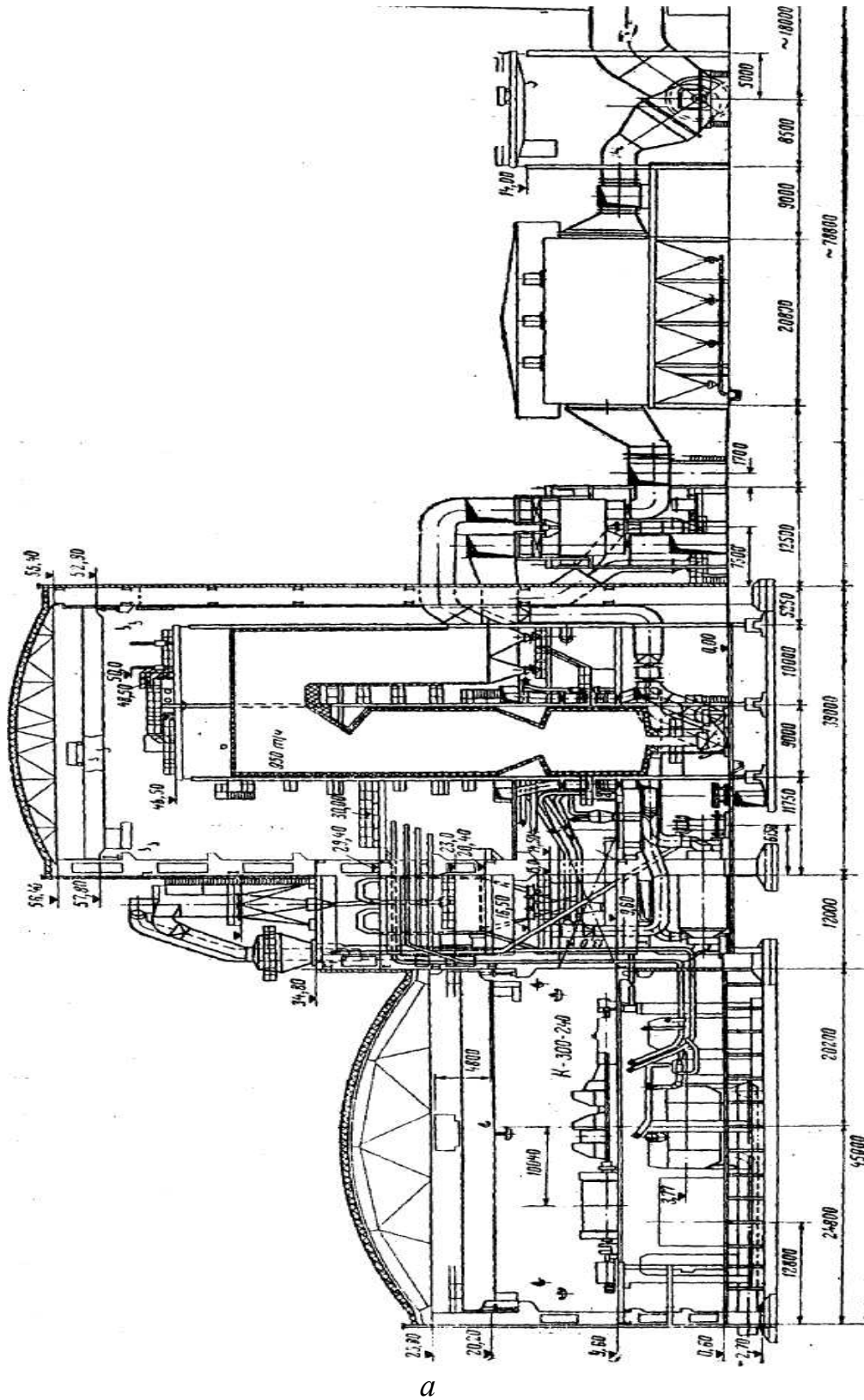


Рис. 9. Компоновка пылеугольной блочной ГРЭС с турбинами К-300-240 и котлами 950 т/ч (начало):
 а – поперечный разрез;

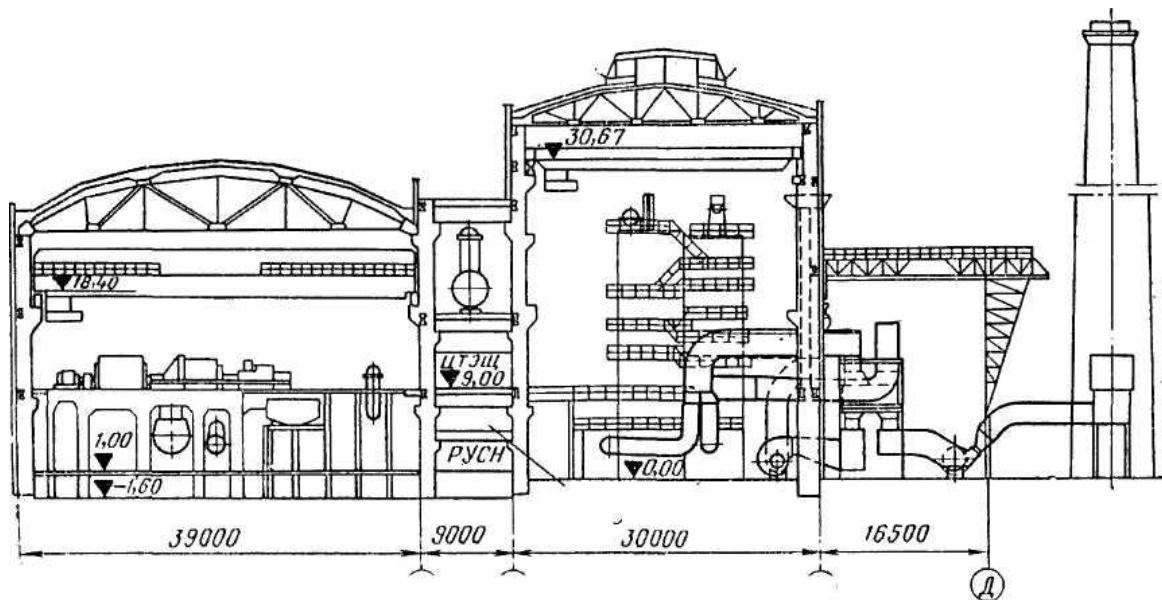


Рис. 10. Поперечный разрез по главному корпусу газомасляной ТЭЦ

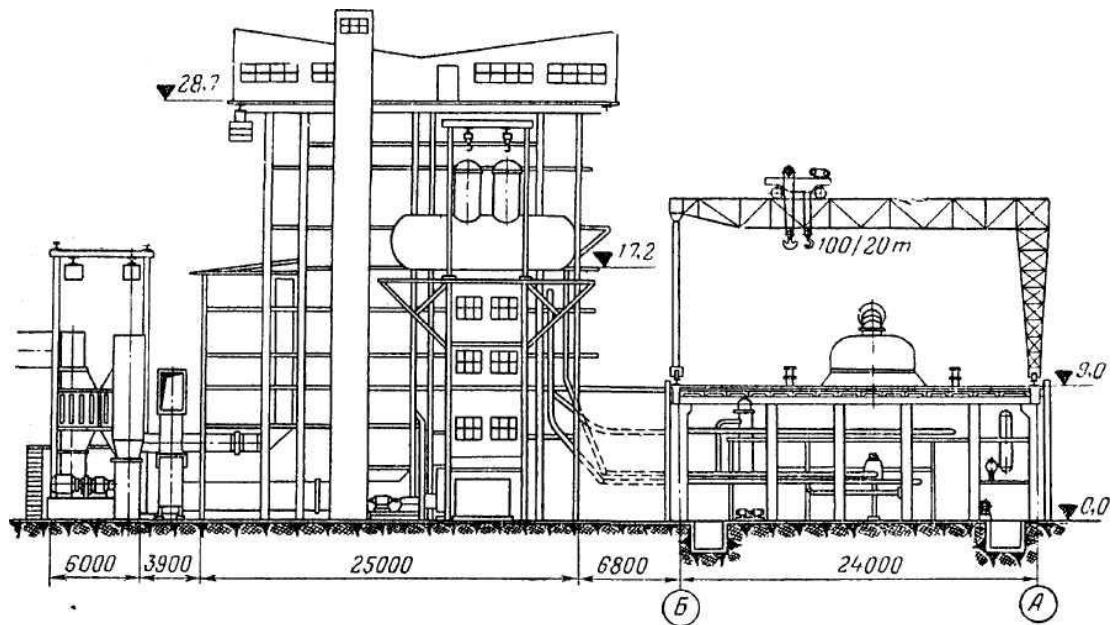


Рис. 11. Поперечный разрез по главному корпусу ТЭС открытого типа

Агрегаты на ТЭС нумеруются в порядке их установки. Торцевая стена главного корпуса со стороны первых котла и турбины называется *постоянным торцом*. Противоположный торец называется *временным*. Он переносится по мере установки новых агрегатов. Продольные ряды колонн обозначаются буквами, а поперечные – цифрами. Для основных геометрических размеров приняты следующие названия:

- ✓ *пролет* – расстояние между осями колонн в поперечном направлении;
- ✓ *шаг по колоннам* – расстояние между осями колонн в продольном направлении;
- ✓ *шаг по котлам (турбинам)* – расстояние в продольном направлении между осями смежных котлов (турбин);

✓ *ячейка котла (турбины)* – часть котельного (машинного) отделения, занятая одним котлом (турбиной) с относящимся к нему вспомогательным оборудованием.

На блочных ГРЭС шаг по котлам и турбинам одинаковый и называется *шагом по блокам*. Благодаря единому шагу все оборудование блока komponуется в единой блочной ячейке. В противном случае происходил бы сдвиг котлов относительно турбин и, как следствие, удлинение коммуникаций блока и нарушение единообразия компоновки, что усложняет проектирование, монтаж и эксплуатацию оборудования. Равенство шагов по котлам и турбинам достигается за счет изменения поперечных и высотных размеров главного корпуса и соответствующей перекомпоновкой оборудования. Например, деаэраторы могут быть расположены либо продольно (см. рис. 7), либо поперечно (см. рис. 9). В последнем случае требуется меньший шаг, но больший пролет. На неблочных ТЭС равенство шагов по котлам и турбинам при одинаковом их количестве является весьма желательным (см. рис. 8). Во всех случаях стремятся, чтобы длина машинного отделения была близка к длине котельного. В частности, для этого принимают продольное расположение турбин, как на рис. 7. Обгон одного отделения другим удлиняет коммуникации и усложняет оперативную связь.

Оборудование главного корпуса располагается в соответствии с технологической последовательностью, что сокращает протяженность коммуникаций. Например, регенеративные подогреватели устанавливаются вблизи турбин и в порядке, соответствующем последовательности прохождения через них конденсата и питательной воды. Однако выдержать этот принцип для всех технологических трактов одновременно не всегда удается. Так, например, при установке питательных насосов вблизи деаэраторного отделения (рис. 7) уменьшается протяженность всасывающих и напорных трубопроводов питательной воды, но увеличивается расстояние от котла до турбины и протяженность. Чтобы уменьшить стоимость строительства здания, мы должны учитывать требования эксплуатации, основным из которых являются:

а) строгое соблюдение правил техники безопасности и норм промышленной санитарии;

б) удобство обслуживания – доступность для управления и внешнего осмотра оборудования в рабочем состоянии.

В компоновках должны быть учтены требования, связанные с ремонтными работами: наличие ремонтных площадок между агрегатами и у торцов здания и возможность транспортирования оборудования с помощью кранов, монорельсовых подъемников или напольных средств.

2.2 Компоновка котельного и бункерного отделений.

Выбор дымовых труб

На рис. 7 показаны компоновки с установкой котла, топка которого повернута в сторону машинного отделения. Возможна компоновка с разворотом топки в противоположную сторону – к наружной стене (рис. 12). Преимуществом второго варианта является меньшая протяженность как главных трубопроводов

между котлом и турбиной, поскольку пароперегреватели и экономайзер размещаются в конвективной шахте, так и воздухопроводов от вынесенных воздухоподогревателей к горелкам. Однако поворот топки к наружной стене требует прокладки газоходов от котла к дымососам через все котельное отделение. Это не только увеличивает их протяженность, но и ухудшает компоновку котельной из-за больших поперечных размеров газоходов. Кроме того, удлиняются пылепроводы к горелкам, так как со стороны бункерного отделения находится конвективный газоход, а не топка котла. Из-за этих недостатков на пылеугольных ТЭС котлы устанавливаются топкой в сторону машинного отделения. На газомазутных электростанциях котлы имеют меньшие габариты, что упрощает прокладку в котельной коробов дымовых газов, а пылепроводы вообще отсутствуют. Поэтому компоновки газомазутных котлов с разворотом топки в сторону наружной стены (см. рис. 12) не имеют недостатков, присущих пылеугольным котлам, а перечисленные вначале преимущества сохраняются. Особое предпочтение отдается варианту с разворотом топки наружу при газомазутных моноблоках со сравнительно свободной компоновкой котельных агрегатов.

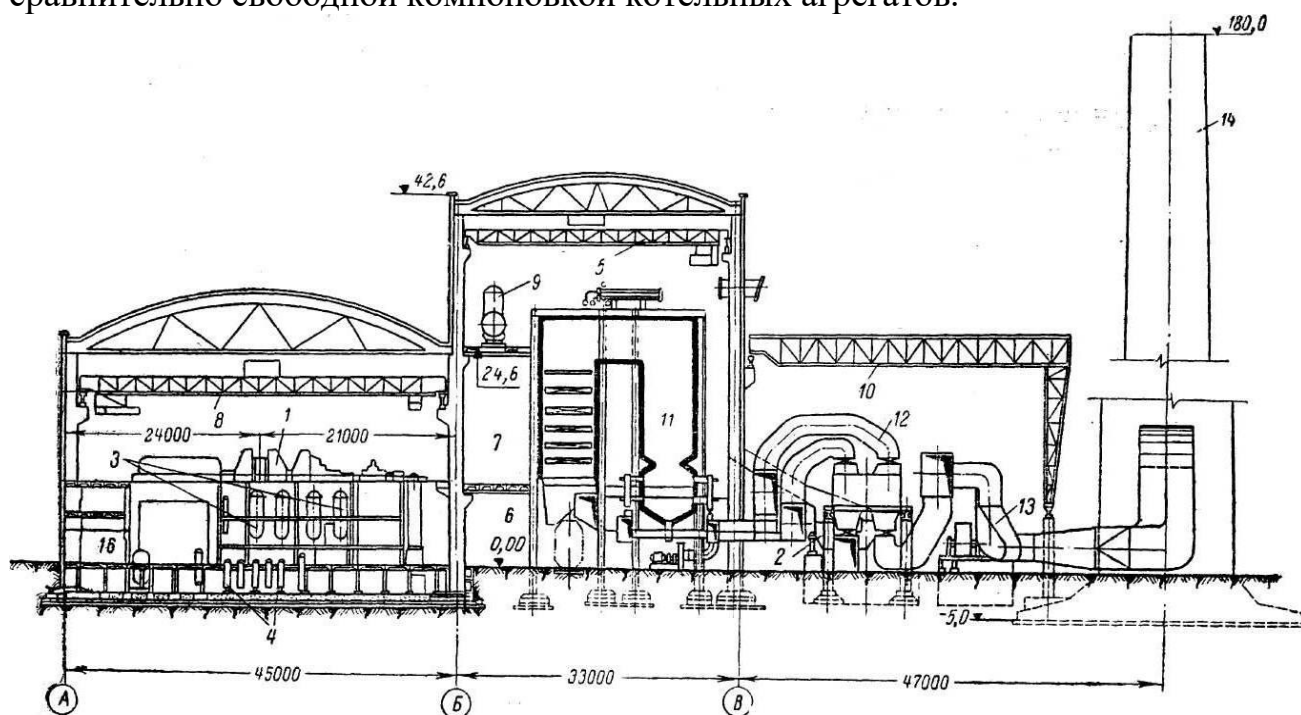


Рис. 12. Компоновка главного корпуса с разворотом топки газомазутного котла к наружной стене (поперечный разрез):

1 – турбоагрегат типа К-300-240; 2 – дутьевой вентилятор; 3 – ПНД; 4 – конденсатные и сливные насосы; 5 – мостовой кран котельного отделения грузоподъемностью 30 тс; 6 – распределительное устройство собственного расхода; 7 – блочный щит управления; 8 – мостовой кран машинного зала грузоподъемностью 125 тс; 9 – деаэратор; 10 – кран дымососного отделения грузоподъемностью 30 тс; 11 – котлоагрегат 950 т/ч; 12 – регенеративные воздухоподогреватели; 13 – дымосос; 14 – дымовая труба

В соответствии с правилами взрывобезопасности, существовавшими до Великой Отечественной войны, бункерные отделения размещались у наружной стены (рис. 13). При таком расположении уменьшается длина трубопроводов между котлом и турбиной, но зато газоходы проходят через бункерное отделение

ние, насыщенное пылеприготовительным оборудованием и имеющее, как правило, и без того стесненную компоновку. При вынесенных регенеративных воздухоподогревателях, получивших широкое распространение после войны, через наружное бункерное отделение проходят и воздухопроводы, что еще больше усугубляет недостаток таких компоновок, в связи с чем для современных ТЭС они не применяются.

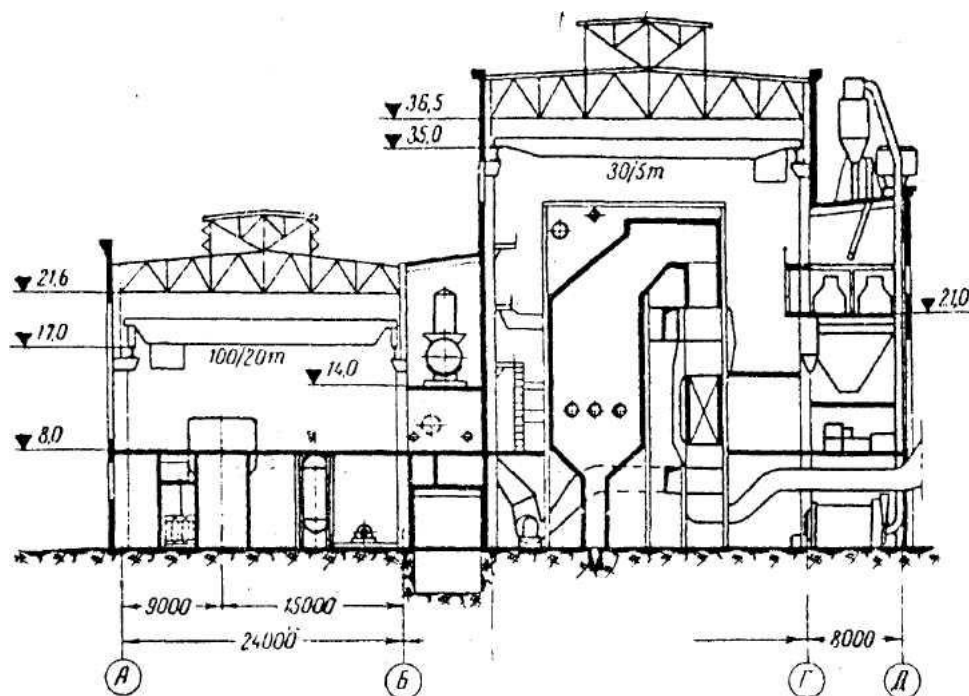


Рис. 13. Компоновка главного корпуса с наружной бункерной этажеркой (поперечный разрез)

При компоновке бункерного отделения особое внимание уделяется мероприятиям, обеспечивающим беспрепятственное движение топлива в бункерах и течках. Бункера должны иметь вертикальные гладкие стенки со скругленными углами. Стенки устья бункера, течи сырого угля, возврата и пыли должны составлять с горизонтом угол не менее 55° . Пылепроводы не должны иметь нисходящеподъемных участков («мешков»), в которых возможно отложение пыли.

На современных ТЭС все оборудование газовоздушного тракта или значительная его часть (воздухоподогреватели, дымососы, вентиляторы, золоуловители) размещается вне главного корпуса, на так называемой открытой площадке (см. рис. 9). Только в суровых климатических условиях при средней температуре за самую холодную пятидневку (ниже -28°C) тягодутьевые машины и воздухоподогреватели устанавливаются в здании.

Экономичность работы тягодутьевых машин во многом зависит от тщательности выполнения примыкающих участков газохода. На рис. 14 показана конструкция всасывающего кармана, обеспечивающая плавный вход газа в каналы рабочих лопаток. На выходе из тягодутьевых машин предусматривается установка диффузоров для преобразования скоростного напора потока в статический. Для плоских диффузоров (две стенки параллельны) угол раскрытия должен быть не более 20° , а для пирамидальных – не более 10° .

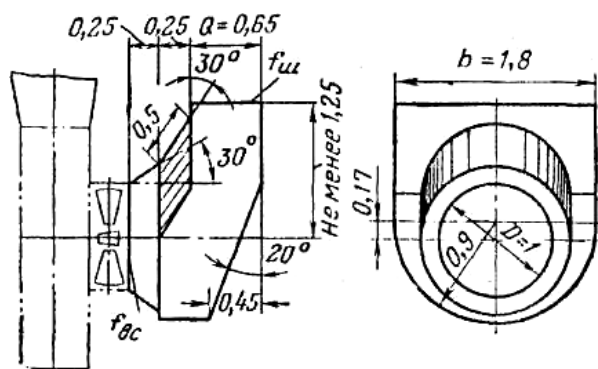


Рис. 14. Конструкция всасывающего кармана (размеры указаны в долях от наружного диаметра рабочего колеса)

При выполнении раздающих и собирающих коллекторов необходимо стремиться не только к снижению их гидравлического сопротивления, но и добиваться равномерной раздачи и сбора газа по параллельным потокам. Пример выполнения раздающего коллектора показан на рис. 15.

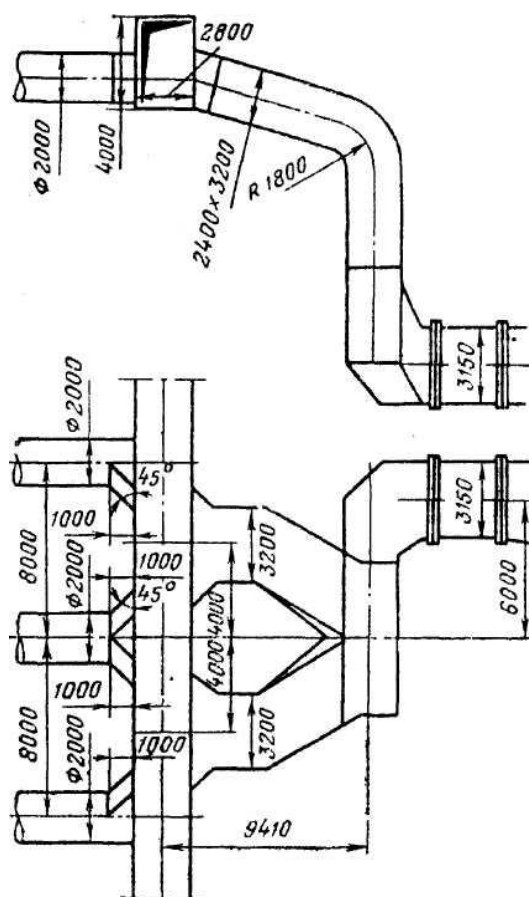


Рис. 15. Коллектор с подводящими и отводящими газоходами между электрофильтрами и дымососами

Для очистки дымовых газов от золы на современных ТЭС устанавливают электрофильтры. Степень улавливания золы в электрофильтрах составляет 98–99 %. Даже при столь высокой степени очистки выброс золы из труб крупных

ТЭС составляет несколько десятков тонн в сутки. Кроме того, в дымовых газах содержится биологически вредный сернистый ангидрид (SO_2). Санитарными нормами установлена предельно допустимая максимальная разовая концентрация (ПДК) золы и SO_2 в воздухе в количестве $0,5 \text{ мг/м}^3$ на уровне дыхания. Для того чтобы снизить концентрацию вредных выбросов, увеличивают площадь рассеивания дымовых газов за счет увеличения высоты дымовой трубы. Если на электростанции установлено N одинаковых дымовых труб с суммарным выбросом дымовых газов через них V , $\text{м}^3/\text{ч}$, то необходимая высота дымовых труб в метрах определяется из соотношения:

$$H = \sqrt{\frac{AMFm}{\text{ПДК} - C_{\phi}}} \sqrt[3]{\frac{N}{V(t_{yx} - t_b)}}$$

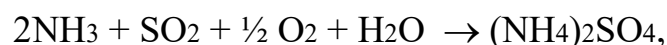
где A – коэффициент, определяемый атмосферными условиями, в зависимости от района составляет $120\text{--}200 \text{ град}^{1/3}$; M – суммарный выброс в атмосферу золы или SO_2 , г/с ; F – коэффициент, учитывающий скорость осаждения примеси в атмосфере; для газов $F = 1$, для золы $F = 2$; m – коэффициент, учитывающий скорость газов на выходе из дымовой трубы:

Скорость газов, м/с	10–15	20–25	30–35
Коэффициент m	1	0,9	0,8

C_{ϕ} – концентрация вредных соединений от других источников (фон), мг/м^3 , t_{yx} , t_g – температура уходящих газов и средняя температура наружного воздуха за самый жаркий месяц.

На ТЭС применяются трубы высотой 120, 150, 180, 250 м. Проектируются трубы высотой 320 м. Диаметр устья дымовой трубы определяется технико-экономическим расчетом. Чем меньше диаметр, тем труба дешевле, но больше скорость и гидравлические потери. Для высоких дымовых труб скорость в устье принимается $30\text{--}40 \text{ м/с}$. Увеличение высоты дымовых труб не является кардинальным решением проблемы защиты воздуха от вредных выбросов. В связи с этим изыскиваются пути извлечения из топлива или продуктов сгорания содержащихся в них вредных соединений, прежде всего, серы.

Круговорот серы в природе происходит следующим образом. В верхних слоях атмосферы под действием ультрафиолетовых лучей из свободного водорода образуется аммиак (NH_3). Реагируя с сернистым ангидридом, кислородом и водой, он образует сернокислый аммоний:



выпадающий на землю вместе с осадками. Этот процесс протекает медленно – около 6 суток, концентрация SO_2 в атмосфере может быть весьма высокой и опасной не только для здоровья людей, но и для окружающей природы.

2.3 Компоновки машинного и деаэрационного отделений

В машинном зале ГРЭС устанавливаются турбоагрегаты со вспомогательным оборудованием, питательные насосы, а на ТЭЦ – еще и оборудование теплофикационной установки и весьма часто циркуляционные насосы.

В компоновках с объединенным бункерно-деаэрационным отделением у фасадной стены машинного отделения обычно располагают РУСР 6 кВ. Если же имеется самостоятельное деаэрационное отделение (ТЭЦ, неблочные ГРЭС, блочные газомазутные ГРЭС), то РУСР 6 кВ располагают в деаэрационном отделении.

Размеры машинного отделения ТЭЦ на 1 кВт мощности в 1,5–2 раза больше, чем на ГРЭС, как из-за наличия теплофикационной установки, так и из-за больших размеров вспомогательного оборудования, что обусловлено большим, чем на ГРЭС, удельным расходом пара.

При продольном расположении турбин пролет машинного зала определяется не столько шириной фундамента турбоагрегата, сколько размещением вспомогательного оборудования при минимальной протяженности трубопроводов между ним и турбиной. При поперечной компоновке минимальный пролет определяется длиной фундамента турбоагрегата с учетом габарита выема ротора генератора.

Преимуществом поперечной компоновки в сравнении с продольной является более простой подвод пара к турбине, что особенно важно для блоков, имеющих промежуточный перегрев, а недостатком – удлинение циркуляционных водоводов.

При продольной компоновке между стеной ряда А и конденсатором выполняется местное заглубление – *циркуляционный прямок*. В нем прокладываются циркуляционные водоводы, устанавливаются конденсатные и циркуляционные насосы (если нет береговой насосной). Для прокладки других трубопроводов, тяготеющих к полу, предусматриваются каналы, а для кабеля – тоннели. Такая конструкция машинного зала называется *бесподвальной*.

При поперечной компоновке в машинном отделении для тех же целей предусматривается *подвал*. Отчасти это обусловлено большей длиной циркуляционных водоводов, вследствие чего прямок для них занимал бы около 30 % площади пола машинного отделения против 10 % при продольном расположении. Отчасти же это связано с тем, что поперечно компонуются крупные турбины со сложной системой трубопроводов и для их прокладки подвал предпочтительнее каналов, несмотря на более высокую стоимость подвальной конструкции. Высота подвала определяется диаметром циркуляционных водоводов с учетом диаметра труб, пересекающих водовод, и составляет 2,5–3,5 м. Подвал не должен заглубляться ниже отметки заложения фундаментов, а чтобы он имел необходимую высоту, верхнее перекрытие подвала (пол машинного отделения) поднимают над уровнем земли.

Помещение между оперативной отметкой обслуживания турбины и полом машинного отделения называется *конденсационным*.

$$H_k = H_{ур} + H_{вс} + H_{пот} + H_{нас},$$

где $H_{ур}$ – расстояние по вертикали от уровня воды в конденсатосборнике до оперативной отметки, зависящее от размеров конденсатора и соединительного патрубка между турбиной и конденсатором, м; $H_{вс}$ – требуемый подпор на всасе конденсатного насоса, м; $H_{пот}$ – гидравлические потери во всасывающем конденсатопроводе, м; $H_{нас}$ – высота над уровнем пола всасывающего патрубка вертикального конденсатного насоса или оси горизонтального насоса, м; если насос заглублен по отношению к полу, то $H_{нас}$ берется со знаком минус.

Высота машинного отделения выбирается так, чтобы обеспечивалась возможность транспортирования статора генератора мостовым краном.

Отметка установки деаэраторов определяется необходимым подпором на всасе питательного насоса и вычисляется следующим образом:

$$H_d = H_{нас} + H_{под} + H_{пот},$$

где H_d , $H_{нас}$ – отметка установки деаэратора и оси питательного насоса, м; $H_{под}$, $H_{пот}$ – необходимый подпор на всасе насоса и гидравлические потери во всасывающем трубопроводе, м.

В деаэраторном отделении всех газомазутных и неблочных пылеугольных ТЭС размещаются также трубопроводы с узлами арматуры, РОУ и БРОУ, щиты управления и распределительное устройство собственного расхода (РУСР), а в объединенном бункерно-деаэраторном отделении пылеугольных блоков – еще и оборудование и бункера системы пылеприготовления. Но во втором случае РУСР выносятся в машинный зал к стене ряда А (см. рис. 9).

Возможность расположения РУСР в деаэраторном отделении газомазутных блочных ГРЭС упрощает компоновку машинного отделения в сравнении с пылеугольными блочными ГРЭС. Это обстоятельство, в частности, позволило разработать компоновку газомазутного блока 300 МВт в ячейке длиной 36 м против 48 м для пылеугольного блока.

2.4 Типовые проекты главных корпусов ТЭС

Главные корпуса, как правило, сооружаются по типовым проектам, каждый из которых предназначается для нескольких типов агрегатов.

В типовых проектах выдержаны единство основных компоновочных решений и широкая унификация строительных конструкций, а также однотипность некоторых технологических узлов (насосов, баков, деаэраторов) и грузоподъемных механизмов. Типовой проект в универсальных строительных конструкциях охватывает пылеугольные и газомазутные электростанции:

– ТЭЦ с турбинами единичной мощностью 50 МВт и более, а также с турбиной Р-25-130;

– ГРЭС с турбинами единичной мощностью 100–300 МВт.

По этому проекту выполнена компоновка блока К-300-240, показанная на рис. 9. Основные размеры главных корпусов приведены на рис. 16. Шаг колонн в продольном направлении 12 м, шаг блоков 160–200 МВт – 36 м, блоков 300 МВт – 48 м. Шаг по турбинам К-100-90 и турбинам ТЭЦ $N_3 = 50 \div 60$ МВт – 24 м. Для турбин Т-100-300 принят шаг 36 м. Шаг по котлам $D = 420$ т/ч – 24 м.

Высота машинного отделения и отметка основной площадки обслуживания турбин и котлов одинаковы.

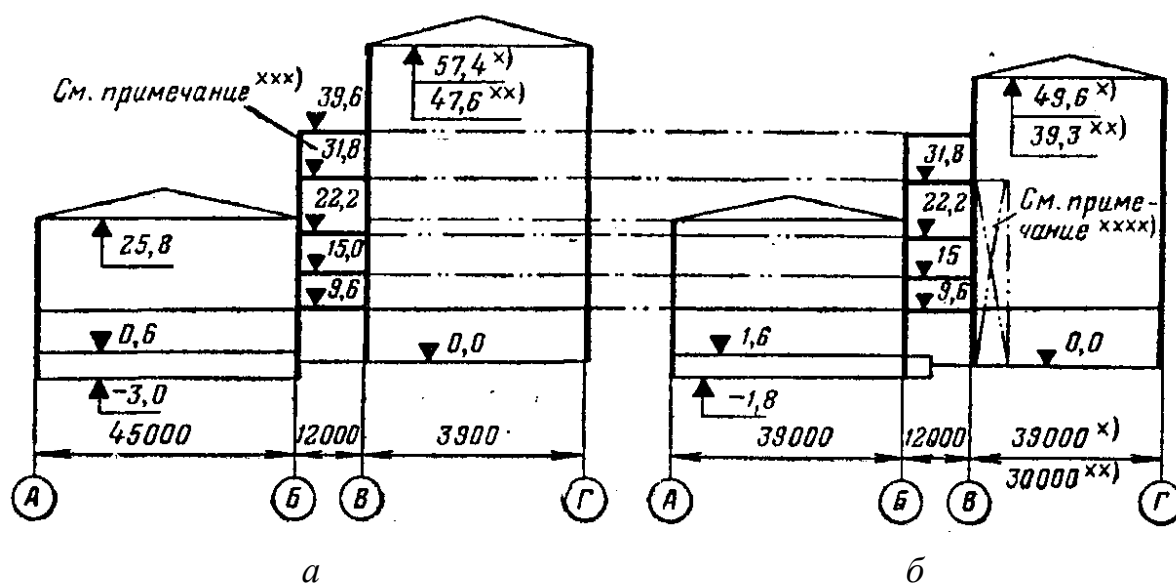


Рис. 16. Поперечные и высотные размеры главных корпусов по типовому проекту из универсальных строительных конструкций:
 а – ГРЭС; б – ТЭЦ; * – размеры для пылеугольных котлов; ** – размеры для газомазутных котлов; *** – на газомазутных ТЭЦ помещение над отметкой 31,8 не сооружается;
 **** – встроенная металлоконструкция для бункеров и оборудования системы пылеприготовления

Помещение ленточных транспортеров на отметке 31,8 между осями Б и В на газомазутных ТЭС не сооружается.

Для унификации строительных конструкций главного корпуса пылеугольной ТЭЦ с ТЭС остальных типов разработан проект, в котором отсутствует бункерное отделение, образуемое железобетонным каркасом здания. Вместо него предусмотрено помещение из металла, встроенное в котельное отделение. Благодаря этому сохраняется единство каркаса главного корпуса в поперечном разрезе для всех ТЭС, охватываемых проектом. Различия в пролетах машинного и котельного отделений, а также в высотных размерах последнего обусловлены различием в габаритах котлов и турбин, зависящих от вида топлива и типа агрегатов.

По этому проекту в машинном и котельном отделениях устанавливаются по два мостовых крана. Один из них используется для обслуживания эксплуатируемого оборудования, второй – на монтаже. При монтаже наиболее тяжелых деталей используется оба крана. Грузоподъемность двух кранов обеспечивает подъем наиболее тяжелых элементов генератора в машинном отделении и барабана котла и укрупненных монтажных блоков в котельном. После окончания монтажа все краны используются для нужд эксплуатации. Для ГРЭС с турбинами 25–50 МВт и ТЭЦ с турбинами по 25 МВт применяется типовый проект «ТЭЦ- ГРЭС-100». По этому проекту турбины устанавливаются продольно, имеются отдельные деаэрационное и внутреннее бункерное отделения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Источники и системы теплоснабжения предприятий: учебник [Электронный ресурс] / В.М. Лебедев [и др.]. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 384 с. – ISBN 978-5-89035-639-0. – Режим доступа : <http://www.iprbookshop.ru/26805.html>.

2 Котельные установки и парогенераторы : учебник [Электронный ресурс] / В.М. Лебедев [и др.]. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 375 с. НТБ РГУПС

3 **Малоземов, В.Н.** Основы инженерного проектирования теплоэнергетических систем и установок : метод. указ. к курсовому проекту (по специальности 100700 «Промышленная теплоэнергетика») / В.Н. Малоземов, И.А. Эстрин. – Ростов н/Д, 2007. – 28 с.