

КАФЕДРА «СТРОИТЕЛЬСТВО ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»



КУРС
«ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ»
ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ

РАЗРАБОТАЛ: ВОРОНКОВ И.Е.

МОСКВА 2022

ЗАНЯТИЕ 1 Вводное

ЭНЕРГЕТИКА В МИРЕ. ГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ;

ЗАНЯТИЕ 2

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПОТЕНЦИАЛ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

ЗАНЯТИЕ 3

КЭС, ТЭЦ, ГТУ, ПГУ;

ЗАНЯТИЕ 4

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА КЭС;

ЗАНЯТИЕ 5

КР. ВЫБОР ПЛОЩАДКИ. СИТУАЦИОННЫЙ ПЛАН;

ЗАНЯТИЕ 6

ПЛАН ПРОМПЛОЩАДКИ;

ЗАНЯТИЕ 7,8

ГЛАВНЫЙ КОРПУС КЭС. КОМПОНОВКА;

ЗАНЯТИЕ 9

ГЛАВНЫЙ КОРПУС КЭС. КОНСТРУКЦИИ;

ЗАНЯТИЕ 9

ТОПЛИВНОЕ ХОЗЯЙСТВО;

ЗАНЯТИЕ 10

ТЕХНИЧЕСКОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ;

ЗАНЯТИЕ 11

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО;

ЗАНЯТИЕ 12

ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ ТЭС;

ЗАНЯТИЕ 13

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ ТЭС.
ИНФРАСТРУКТУРА;

ЗАНЯТИЕ 14

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЭС.

ЗАНЯТИЕ 1

ИСТОРИЯ АТОМНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В МИРЕ И
РОССИИ

ЗАНЯТИЕ 2

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АТОМНОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ

ЗАНЯТИЕ 3

ТИПЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

ЗАНЯТИЕ 4

КАНАЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ;

ЗАНЯТИЕ 5

АЭС С РЕАКТОРАМИ ВВЭР;

ЗАНЯТИЕ 6

ЯДЕРНЫЙ ОСТРОВ АЭС С РЕАКТОРАМИ ВВЭР;

ЗАНЯТИЕ 7

ТУРБИННЫЙ ОСТРОВ АЭС С РЕАКТОРАМИ ВВЭР;

ЗАНЯТИЕ 8

ПЛАН ПРОМПЛОЩАДКИ АЭС С РЕАКТОРОМ
ВВЭР (ПРОЕКТ АТОМЭНЕРГОПРОЕКТА);

ЗАНЯТИЕ 9

ПЛАН ПРОМПЛОЩАДКИ АЭС С РЕАКТОРОМ
ВВЭР (ПРОЕКТ АТОМПРОЕКТА);

ЗАНЯТИЕ 10

ВСПОМОГАТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗДАНИЯ
АЭС С РЕАКТОРАМИ ВВЭР;

ЗАНЯТИЕ 11

СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНАЯ БАЗА АЭС С
РЕАКТОРАМИ ВВЭР

ЗАНЯТИЕ 12,13

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ АЭС;

ЗАНЯТИЕ 14

АЭС С РЕАКТОРАМИ ЭГП, БН, АД (АДЭ);

ПЛАН САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ



ЗАНЯТИЕ

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА «ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ
СХЕМА КЭС»;

ЗАНЯТИЕ

ПРОЕКТНАЯ РАБОТА «КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО
КОРПУСА КЭС»;

ЗАНЯТИЕ

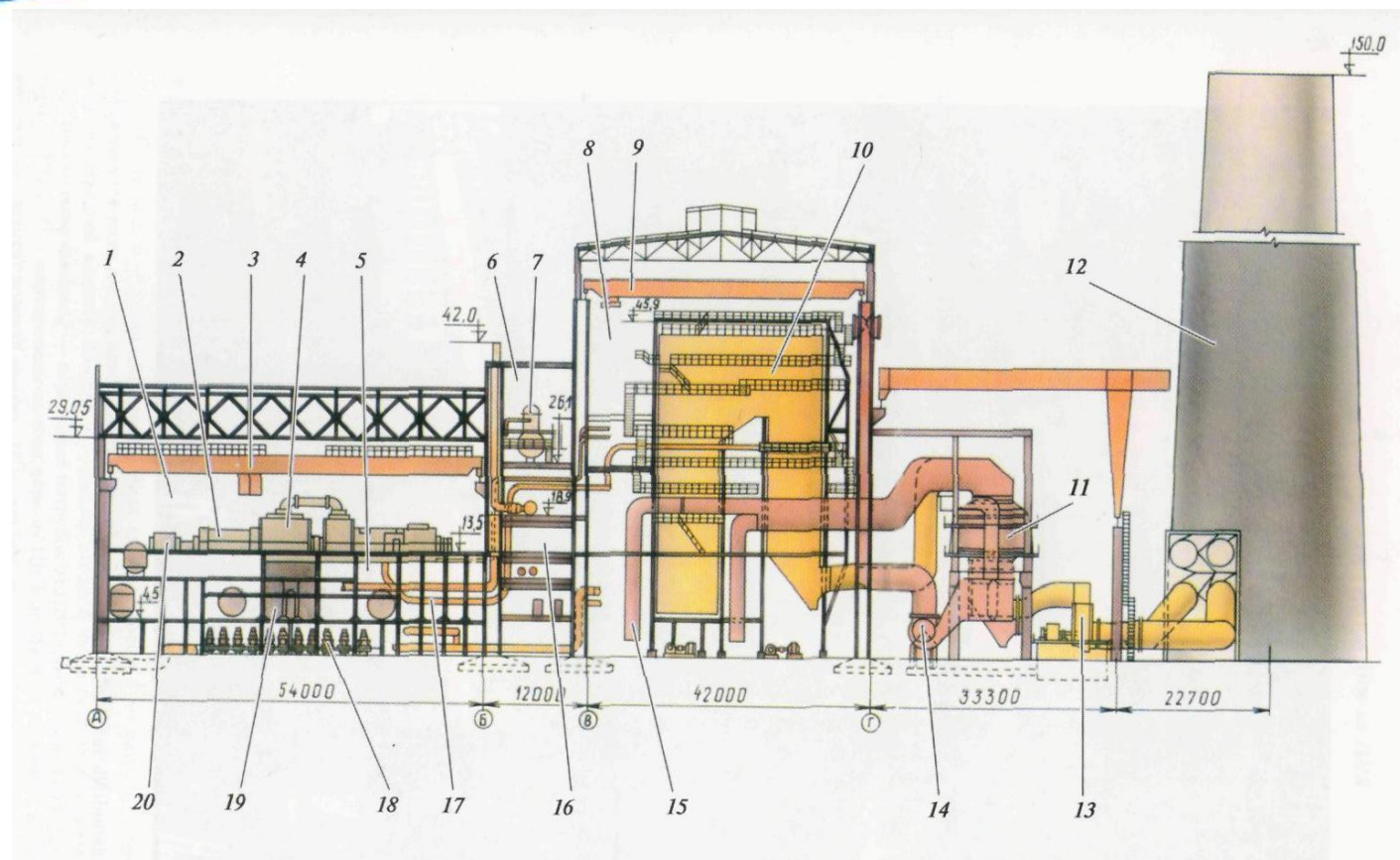
ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ АЭС

КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

Под **компоновкой** обычно понимают взаиморасположение оборудования, коммуникаций и строительных элементов здания.

Главным корпусом ТЭС называется здание или комплекс зданий, в которых размещаются основное и вспомогательное оборудование, непосредственно участвующее в процессе выработки тепловой и электрической энергии. Это:

- газотурбинная установка с генератором,
- котел-утилизатор,
- оборудование пароводяного тракта (паровой котел, турбина, генератор, конденсатор и др.),
- частично топливного и газозвоздушного, маслосистема,
- электрическое распределительное устройство собственных нужд и др.



1 – машинный зал; 2 – электрогенератор; 3 – мостовой кран для монтажных и ремонтных работ; 4 – ЦНД паровой турбины; 5 – конденсационное помещение; 6 – деаэрационная этажерка; 7 – деаэратор; 8 – котельное отделение; 9 – мостовой кран для обслуживания котла; 10 – котел; 11 – воздухоподогреватель; 12 – дымовая труба; 13 – дымосос; 14 – вентилятор рециркуляции горячих газов; 15 – забор воздуха; 16 – помещение блочного щита управления; 17 – паропроводы; 18 – конденсатные насосы; 19 – конденсатор; 20 – возбудитель электрогенератора

Компоновка должна обеспечивать:

- надежное, бесперебойное **энергоснабжение** потребителей;
- **условия для эксплуатации** ревизии, ремонта, монтажа и демонтажа оборудования, в том числе и санитарно-гигиенические;
- **безопасность** персонала, защиту окружающей среды при авариях, пожарную и взрывобезопасность;
- возможность **реализации проекта**, в том числе его архитектурно-конструктивной части, на площадке (с учетом этапов изготовления и транспортировки) современными доступными технологиями в оптимальные или заданные сроки,
- **индустриальные методы** его строительства и монтажа, ремонта оборудования. Предусматривают установку грузоподъемных механизмов (электрических мостовых кранов и др.) для обслуживания основного и вспомогательного оборудования;
- **высокие** технико-экономические показатели (**ТЭП**) главного корпуса и электростанции в целом, к числу которых в первую очередь относятся: удельные капиталовложения и объем строительно-монтажных работ (руб/кВт), себестоимость вырабатываемой энергии (руб/кВт-ч), срок окупаемости;
- **возможность модернизации** оборудования по завершении проектного срока службы, реконструкции здания, а также полный демонтаж с восстановлением на площадке условий «природной лужайки».

Перечисленное в приведенной формулировке весьма неопределенно и допускает самые различные решения. Часто **повышение степени «обеспечения»** по одной из позиций приводит к **ухудшению по другой**.

Повышение надежности и безопасности связано, как правило, с увеличением **стоимости**, ухудшением технико-экономических показателей.

Удовлетворение всем функционально-технологическим требованиям обычно сопровождается **усложнением, удорожанием** архитектурно-строительной части, и наоборот.



КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

Выбор принципиальных компоновочных схем осуществляется уже при разработке головных образцов основного оборудования, на начальных стадиях проектирования при технико-экономическом обосновании путем **сравнения различных вариантов**.

На этой стадии делаются попытки учесть также **ущерб** от возможных **аварий** по техногенным причинам, вследствие экстремальных природных воздействия, а также **затраты по ликвидации** электростанции по завершении срока ее эксплуатации.

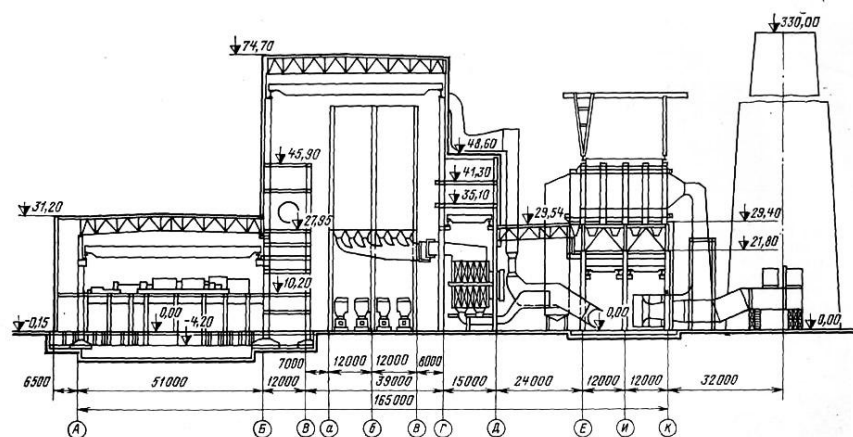
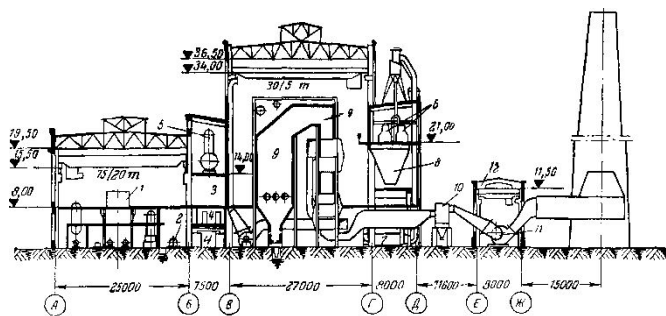


Рис. 3.8. Главный корпус Экибастузской ГРЭС-1. Разрез.

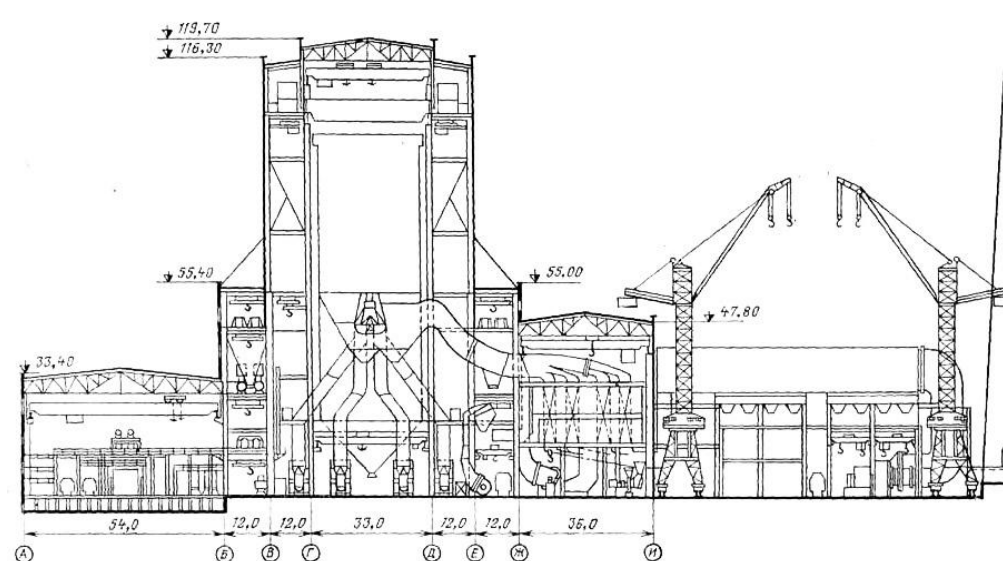
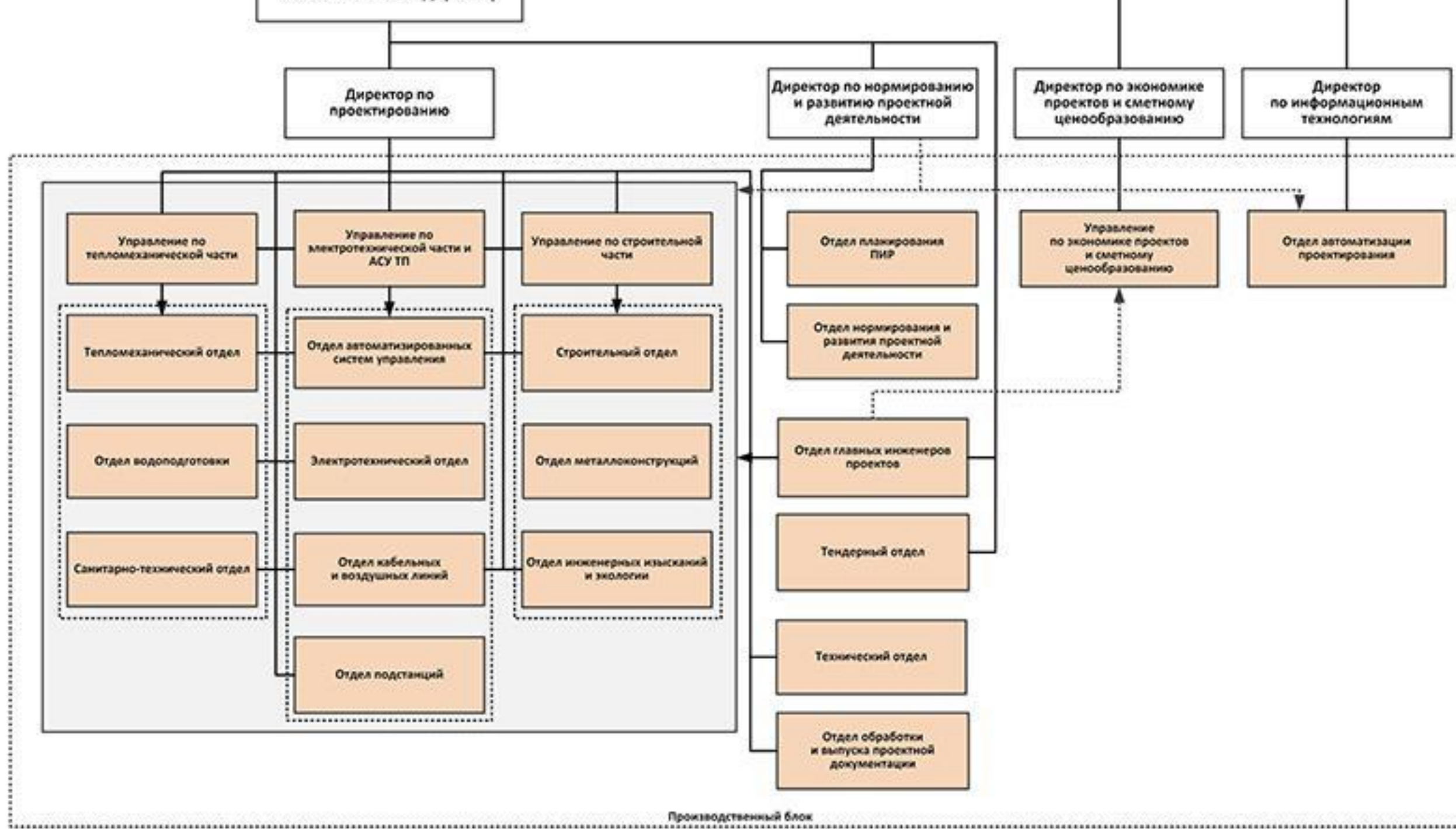


Рис. 3.12. Главный корпус Березовской ГРЭС-1. Разрез



КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

Среди **факторов**, от которых зависит компоновка, необходимо выделить следующие:

- **тип** электростанции, ее технологическая структура (блочная или неблочная);
- **количество и мощность** устанавливаемых энергоблоков (агрегатов);
- **вид** топлива и его характеристики;
- **габариты**, особенности конструктивно-компоновочного решения основного оборудования, в первую очередь котла, турбоагрегата, газотурбинной, парогазовой установки;
- **количество** и структура эксплуатационных **служб**, объем служебных помещений;
- **проектная надежность** работы оборудования, продолжительность и частота ремонтных периодов, необходимость специальных площадок и грузоподъемных механизмов.





Среднеуральская ГРЭС (1580 МВт + 1327 Гкал)

Основные **достоинства блочной схемы:**

- блочные ТЭС **дешевле** неблочных, так как уменьшается количество трубопроводов и арматуры;
- **облегчается управление** энергоблоком и его автоматизация; работа блока не влияет на соседние блоки;
- ТЭС с блочной схемой **удобнее расширять**, прежде всего турбоустановками более высоких параметров.

Главным достоинством электростанции с **неблочной** схемой является то, что **требования** к ней по надежности меньше, причем здесь может иметься «**скрытый**» резерв пара.

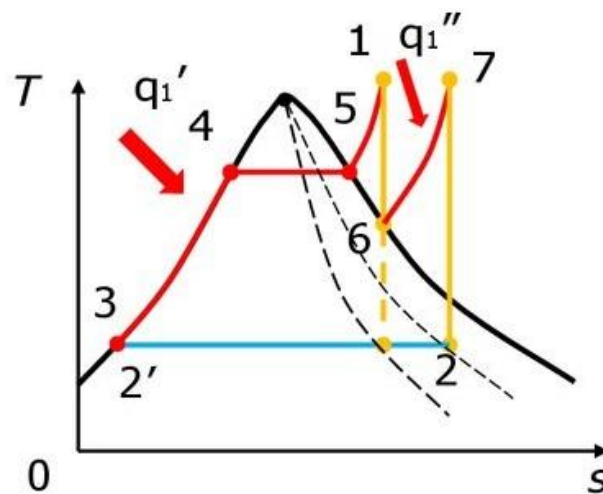
КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

Следовательно, на ГРЭС с начальным давлением пара 130 атм, а также на **ГРЭС и ТЭЦ** со сверхкритическими параметрами (**240 атм**) должна применяться **только блочная** схема.

Для **ТЭЦ** с давлением острого пара **не более 130 атм** характерны **неблочные** схемы, но в зависимости от состава и назначения оборудования возможно сочетание на одной ТЭЦ обеих тепловых схем одновременно.

На **АЭС** используются **только блочные** схемы - как из-за наличия промперегрева пара, так и по соображениям безопасности реакторной установки.

Промежуточный перегрев пара (вторичный)



- 1-6 расширение пара в ЦВД
- 6-7 промежуточный перегрев пара
- 7-2 расширение пара в ЦСД+ЦНД
- 2-2' конденсация пара в конденсаторе
- 2'-3 сжатие воды в питательном насосе
- 3-4 нагрев питательной воды до температуры кипения
- 4-5 генерация пара в котле
- 5-1 перегрев пара в пароперегревателе

КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации ТЭС позволил достаточно **общие требования**, изложенные выше, **конкретизировать** на уровне взаиморазмещения оборудования, строительных конструкций, трассировки коммуникаций, расположения функциональных систем.

С известной степенью условности **специальные требования** можно разделить на следующие **группы**:

- **функционально-технологическая;**
- **архитектурно-конструктивная;**
- **эксплуатационная, санитарно-гигиеническая и охраны труда;**
- **надежности и безопасности;**
- **организационно-строительная;**
- **реконструкции и ликвидации объекта.**

В каждой из групп можно выделить наиболее важные требования, пожелания.



А. Функционально-технологическая группа

- Обеспечить по возможности **кратчайшее расстояние между паровым котлом и турбиной** с целью максимального сокращения протяженности наиболее ответственных и дорогостоящих трубопроводов;
- Обеспечить **минимальную протяженность воздухопроводов** от воздухоподогревателей к топке котла и в систему пылеприготовления;
- Обеспечить **симметричную по отношению к оси котла трассировку воздухо-, пылевоздуховодов, отходящих газопроводов рециркуляции дымовых газов**;
- Обеспечить **минимальные расстояния между цилиндрами низкого давления (ЦНД) турбины и конденсатором**;
- Обеспечить **минимальную разницу отметок конденсатора и источника водоснабжения**;
- Обеспечить **подпор воды на входе в группу бустерных-питательных насосов** примерно до 0,2 МПА (для КЭС на сверхкритических параметрах пара);
- Обеспечить **кратчайшее расстояние между генератором и повышающим трансформатором**.

Обеспечить высокие технико-экономические показатели компоновки:

- **расположение тяжелого оборудования на нулевой отметке** (снижение нагрузки на конструкции);
- **совмещение несущих конструкций здания и оборудования**, например каркаса главного корпуса и котла подвесной котел;
- **опирание перекрытий этажерки на каркас котла**;
- **ограничение пролетов** с целью приемлемого расхода металлоконструкций на фермы покрытия и стоимости мостовых кранов; пролеты главных корпусов в реализованных проектах не превышают 54 м;
- **использование для особо нагруженных элементов каркаса высокопрочных сталей, специальных профилей** и др;
- **полузакрытая компоновка**, когда в здании размещается турбоагрегат, тепломеханическое и некоторое другое оборудование, а также эксплуатационные службы; **котел устанавливается открыто** с легкими ограждающими конструкциями на его каркасе; в условиях нашего климата такое решение распространения не получило;
- размещение в одном здании **нескольких энергоблоков**.

Б. Архитектурно-конструктивная группа

- **Объемно-планировочное решение (компоновка) должно соответствовать принятой в строительстве модульной системе**, позволяющей широко использовать унифицированные конструкции заводского изготовления, промышленные методы строительства. (До недавнего времени : основной модуль **100 мм**, шаг колонн **12 м** (при обосновании **6 м**), пролеты **кратны 3 м**, а в этажерке (см. ниже) при обосновании **1,5 м**, высоты одноэтажных производственных зданий до низа несущих конструкций покрытий и высоты этажей многоэтажных производственных зданий кратны **0,6 м** и т.д.)
- **Архитектурно-конструктивное решение**, реализующее компоновку в строительной части, должно базироваться на современных **доступных материалах, конструкциях и технологиях** строительства.
- **Обеспечить высокие технико-экономические показатели компоновки**, которые в архитектурно-конструктивной части определяются стоимостью, расходом основных материалов и конструкций на: **1 м3 объема; 1 м2 площади** здания, **на кВт** установленной мощности;
- При размещении в здании нескольких энергоблоков обеспечить **четкое разделение объема здания на зону эксплуатации и зону строительства** на всем протяжении этапа сооружения ТЭС

В. Группы эксплуатационная, санитарно-гигиеническая и охраны труда

Г. Надежность, безопасность

Д. Организационно-строительная группа

Организационно-строительные требования к компоновке связаны с возможностью реализовать проект **с оптимальной затратой сил и средств в заданные сроки.**

Следующие компоновочные решения в наибольшей степени способствуют такой реализации:

- Позволяющие наиболее четко организовать **поточное строительство**, предпосылки которого заложены в формировании мощности электростанции из **идентичных энергоблоков.**
- Наилучшим образом это можно осуществить при размещении энергоблоков **в отдельных зданиях**, когда захваты-энергоблоки четко разделены в пространстве, т.е. **отсутствуют взаимные помехи** при производстве работ на соседних захватках.

Д. Организационно-строительная группа

- **Увеличивающие протяженность участков**, где можно расставить машины, механизмы, строительные бригады, возводящие объект, куда можно подать материалы, конструкции, оборудование, подлежащее монтажу.

С увеличением протяженности таких участков создаются предпосылки для интенсификации строительного процесса. Наилучшие условия создаются при размещении каждого энергоблока в своем здании.

Периметр энергоблока по ограждающим конструкциям здесь наибольший.

- **Сокращающие продолжительности периода**, когда один и те же транспортные пути, а часто и краны, используются для **подачи конструкций** и оборудования в монтаж (как правило, с взаимными помехами и потерями времени).

Продолжительность такого периода сокращается **с уменьшением числа энергоблоков**, размещаемых в одном здании.

Д. Организационно-строительная группа

- Приводящие к минимальным **ограничениям в последовательности** основных строительно-технологических процессов, т.е. позволяющие большее число элементов здания (оборудования) возводить (монтировать) одновременно.

С этих позиций **боковое размещение конденсатора предпочтительнее** нижнего. В последнем случае работы по возведению фундамента турбоагрегата, на плашке фундаментной плиты которого устанавливается конденсатор, и работы по монтажу турбины, генератора и конденсатора строго увязаны между собой. **При боковом конденсаторе** возведение фундаментов, монтаж конденсатора и турбоагрегата могут осуществляться **параллельно**.

- Д.5. Позволяющие осуществлять **перебазировку** машин и механизмов с захватки на захватку, с блока на блок **с минимальной затратой** средств и времени.

Необходимо **избегать** компоновочных решений, при которых краны, особенно тяжелые, большой грузоподъемности приходится размещать **на** частично или полностью **возведенных строительных** конструкциях. Предпочтительнее размещать краны, особенно со стационарными путями, **вне периметра здания**. Исключения могут иметь место для большепролетных зданий, **когда краны располагаются в пролете и используются для монтажа основных элементов каркаса способом «на себя»**.

Д. Организационно-строительная группа

- С **минимальным количеством монтажных элементов**, узлов по основным несущим и ограждающим конструкциям, что обеспечивает снижение трудозатрат на монтаже, минимальную продолжительность возведения «коробки», позволяя продолжать строительно-монтажный процесс внутри здания в благоприятных условиях.

Так, двухпролётный поперечник главного корпуса предпочтительнее трёхпроцентного, а 12-метровый шаг основных несущих конструкций каркаса предпочтительнее 6-метрового, хотя и приводит к некоторому увеличению расхода материалов.

- Решения, позволяющие на всех этапах строительства от пуска первого до ввода в эксплуатацию последнего энергоблока **четко выделить** в пространстве, на площадке **строящуюся часть** комплекса ТЭС, главного корпуса, с организацией основных транспортных путей для подачи материалов, оборудования, временных коммуникаций электро-, водо-, тепло-, газоснабжения и др.

По ряду перечисленных пунктов условия для организации и производства строительно-монтажных работ **улучшаются с уменьшением числа энергоблоков** в одном здании. Крайне важной и не решенной до сих пор **задачей** является определение оптимального количества энергоблоков в одном здании в зависимости от совокупности исходных параметров, с учетом всех факторов, влияющих на решение.





Невинномысский
рабочий

КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

- В современных компоновках главного здания применяется **параллельное размещение** котельного и турбинного отделений с **однорядным расположением котлов и турбин**. При этом достигается **минимальная длина трубопроводов**, удельный строительный объём и стоимость строительной части главного здания, а также удобство в обслуживании оборудования.

Возможны два способа размещения турбин в машинном зале – **продольное и поперечное**.

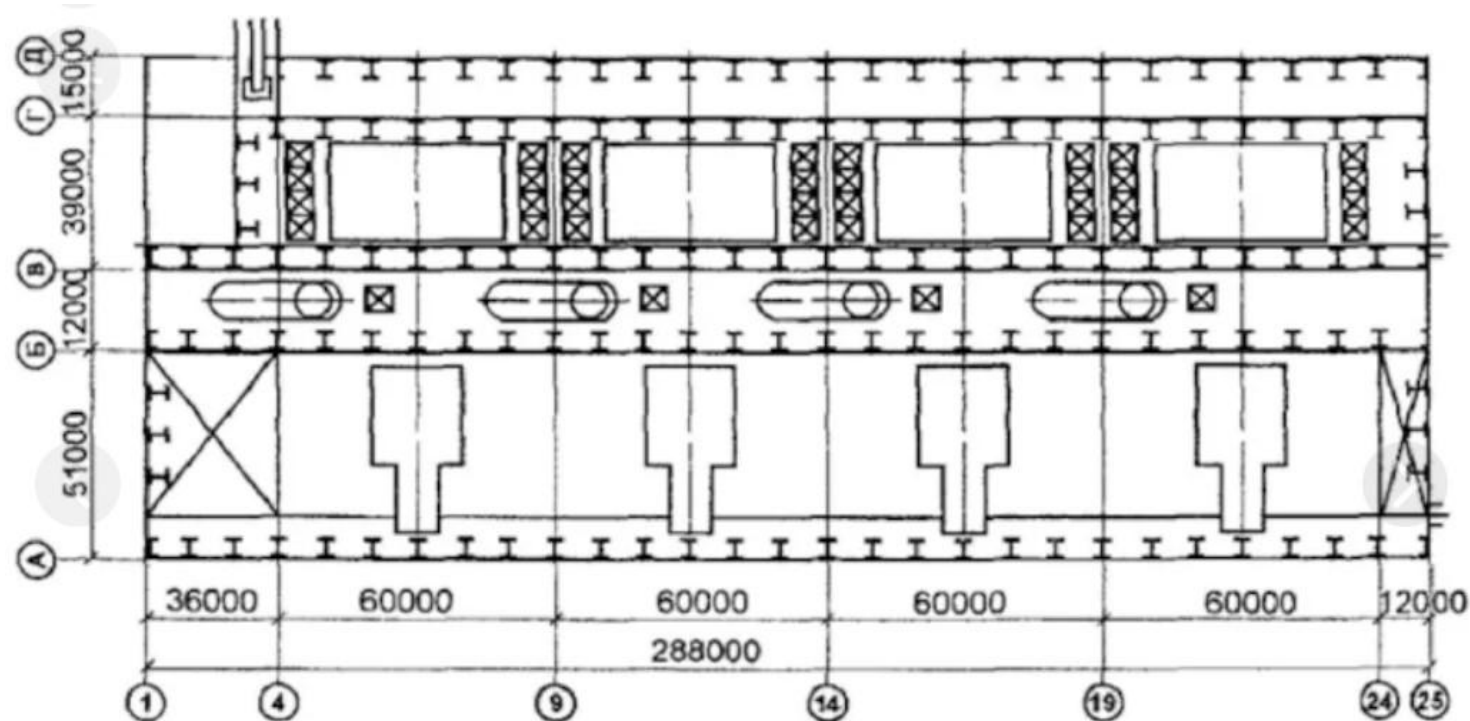
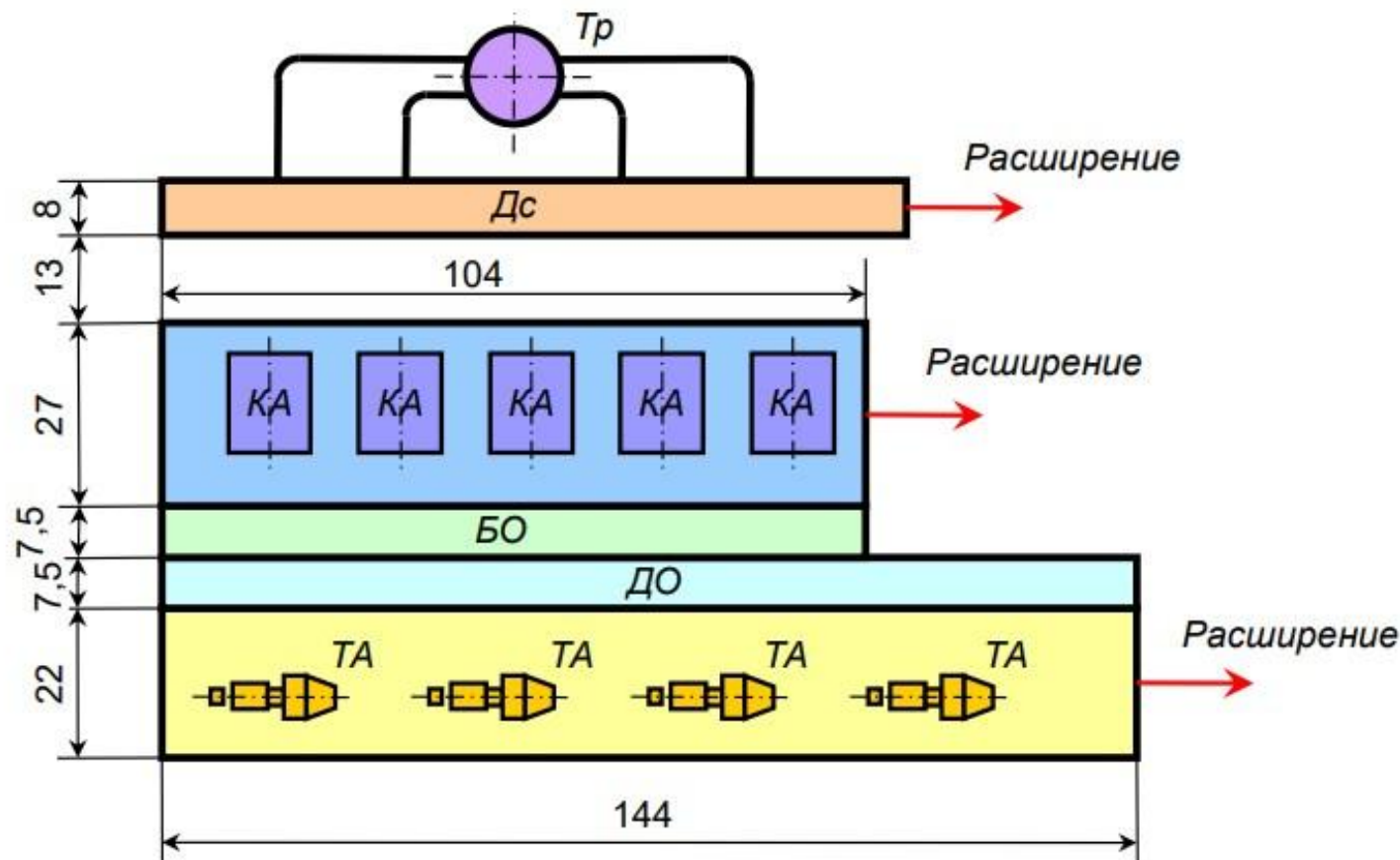


Рис. 3.13. Пример компоновки плана главного корпуса ТЭС.

В первом случае **меньше пролёт** турбинного отделения и дешевле его перекрытие и мостовой кран. Но турбинное отделение получается **длиннее котельного** и при расширении размеры первого увеличиваются быстрее размеров второго.

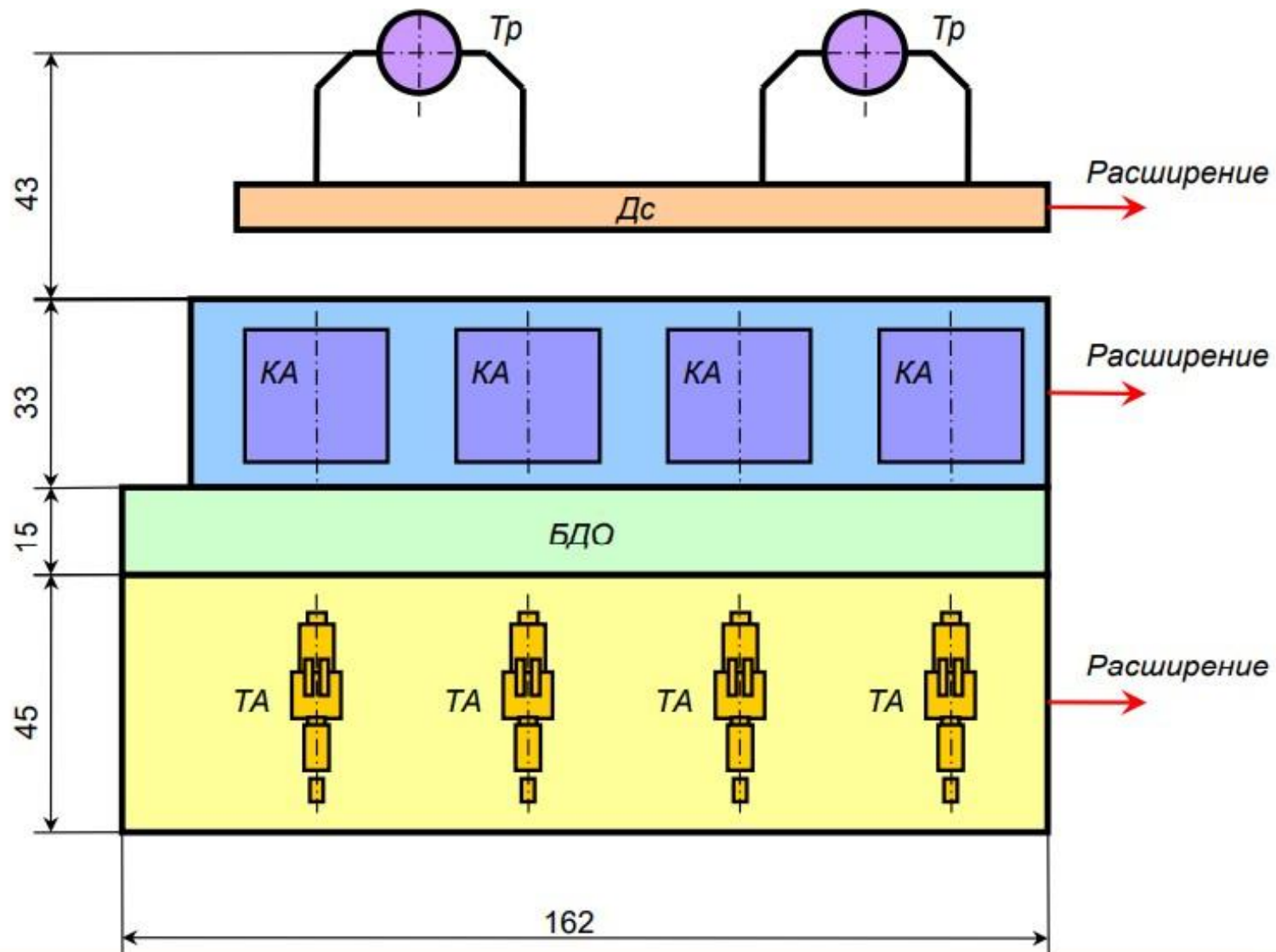
КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

ПРОДОЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ТУРБИН В ГЛАВНОМ КОРПУСЕ ТЭС



ТА – турбоагрегат; КА – котельный агрегат; Дс – дымососы; Тр – дымовая труба;
 БДЭ – бункерно-деаэрационное отделение; БЭ – бункерная этажерка;
 ДЭ – деаэрационная этажерка

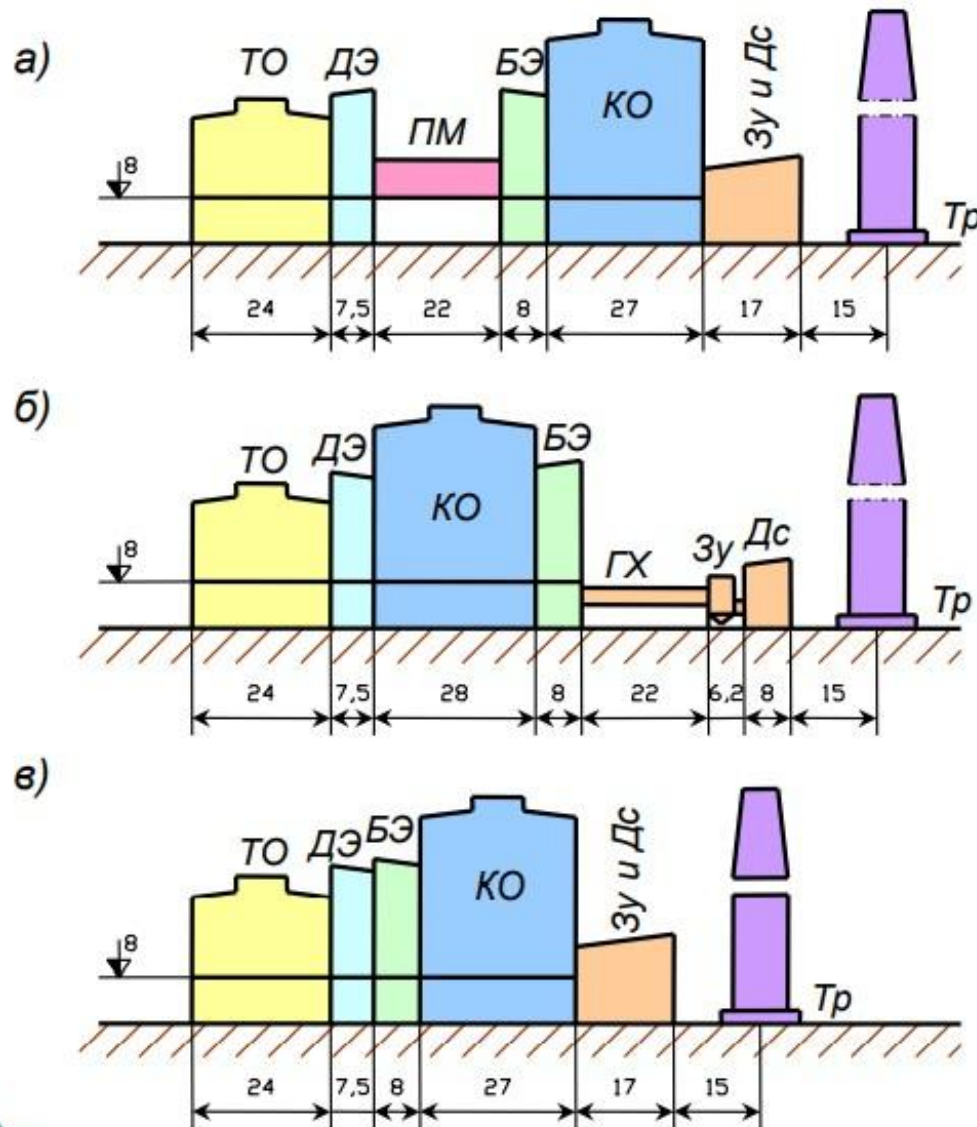
КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС



**ПОПЕРЕЧНОЕ
РАСПОЛОЖЕНИЕ
ТУРБИН В
ГЛАВНОМ
КОРПУСЕ ТЭС**

КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

ВАРИАНТЫ КОМПОНОВОК ГЛАВНЫХ КОРПУСОВ ТЭС



а – разомкнутая;
 б – сомкнутая с наружным бункерным отделением;
 в – сомкнутая с внутренним бункерным отделением

ТО – турбинное отделение;
 ДЭ – деаэрационная этажерка;
 ПМ – переходные мостики;
 БЭ – бункерная этажерка;
 КО – котельное отделение;
 Зу – золоуловители;
 ГХ – газоходы;
 Дс – дымососы;
 Тр – дымовая труба.

Разомкнутая удобнее, лучше освещение и вентиляция, но **больше площадь и длина трубопроводов**, а соответственно капитальные и эксплуатационные затраты.

С **внешним бункерным** отделением обеспечивается **естественное освещение и вентиляция**, короткие трубопроводы но усложняется отвод дымовых газов и удлиняются газоходы котла.

Компоновка с **внутренним бункерным** отделением – **основная и имеет минимальный удельный объём**.

В главном корпусе электростанций с энергоблоками **150, 210 и 300 МВт деаэрационное и бункерное отделения совмещены**, точнее, деаэраторы с их баками устанавливают в бункерном помещении, между бункерами соседних энергоблоков, под верхним этажом с ленточными конвейерами, подающими топливо в бункера котельной. Такое промежуточное помещение называют **бункерно-деаэрационным**.

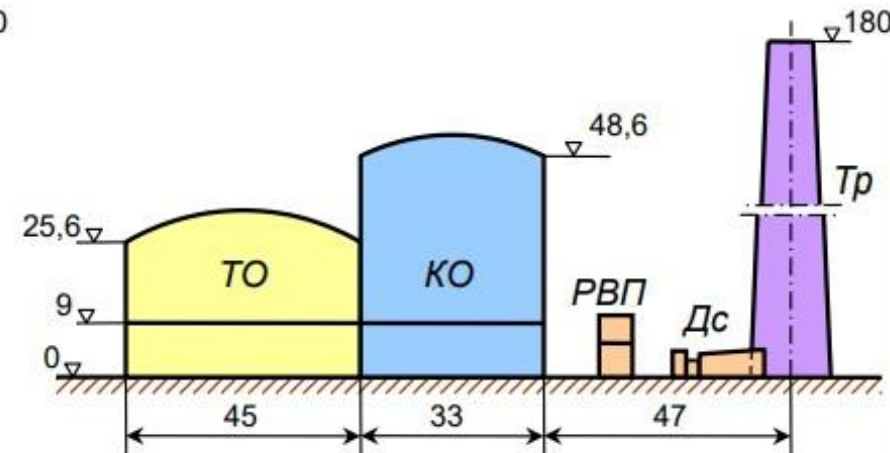
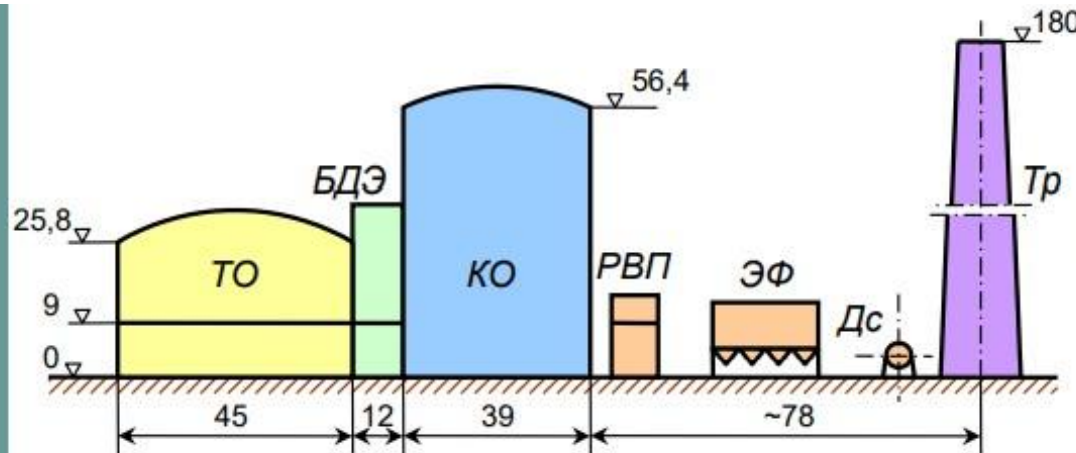
Встречаются компоновки ТЭС на газомазутном топливе **без промежуточного помещения**; **деаэраторы** с баками устанавливают при этом **на специальных площадках** внутри котельной на высоте около 25 м.

Более половины капитальных **затрат** на электростанцию приходится на **оборудование и строительную часть главного корпуса**.

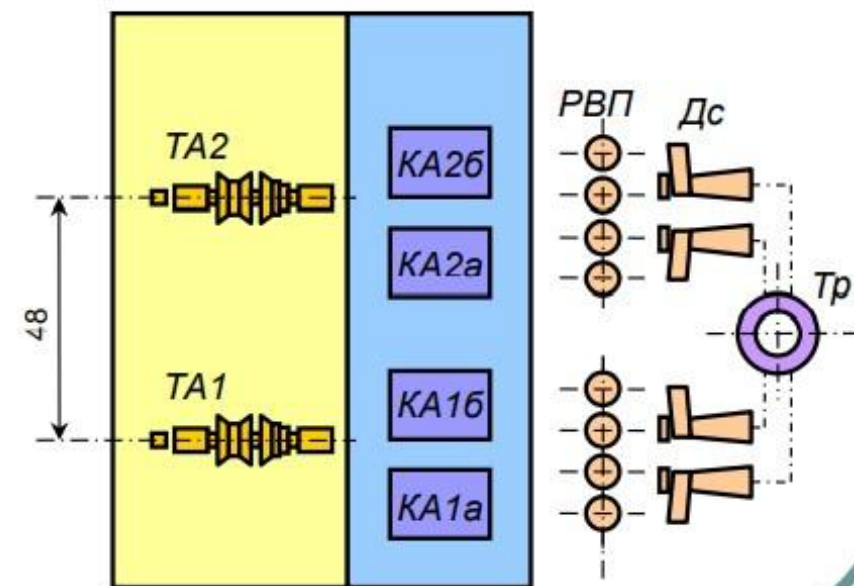
КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

КОМПОНОВКА ГК БЛОЧНЫХ ТЭС

Для сокращения
длины трубопроводов
совмещают
бункерное и
деаэраторное
отделения (при
работе **на угле**) или
отказываются от
отдельного
помещения (при
работе **на газе** или
мазуте)



ТО – турбинное отделение;
БДЭ – бункерно–деаэраторная
этажерка;
КО – котельное отделение;
ЭФ – электрофильтры;
РВП – регенеративные
воздухоподогреватели;
Дс – дымососы;
Тр – дымовая труба.



КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

НОВОСИБИРСКАЯ
ТЭЦ-5



КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

ПАРНО-ЗУБЧАТАЯ КОМПОНОВКА ГК ТЭС

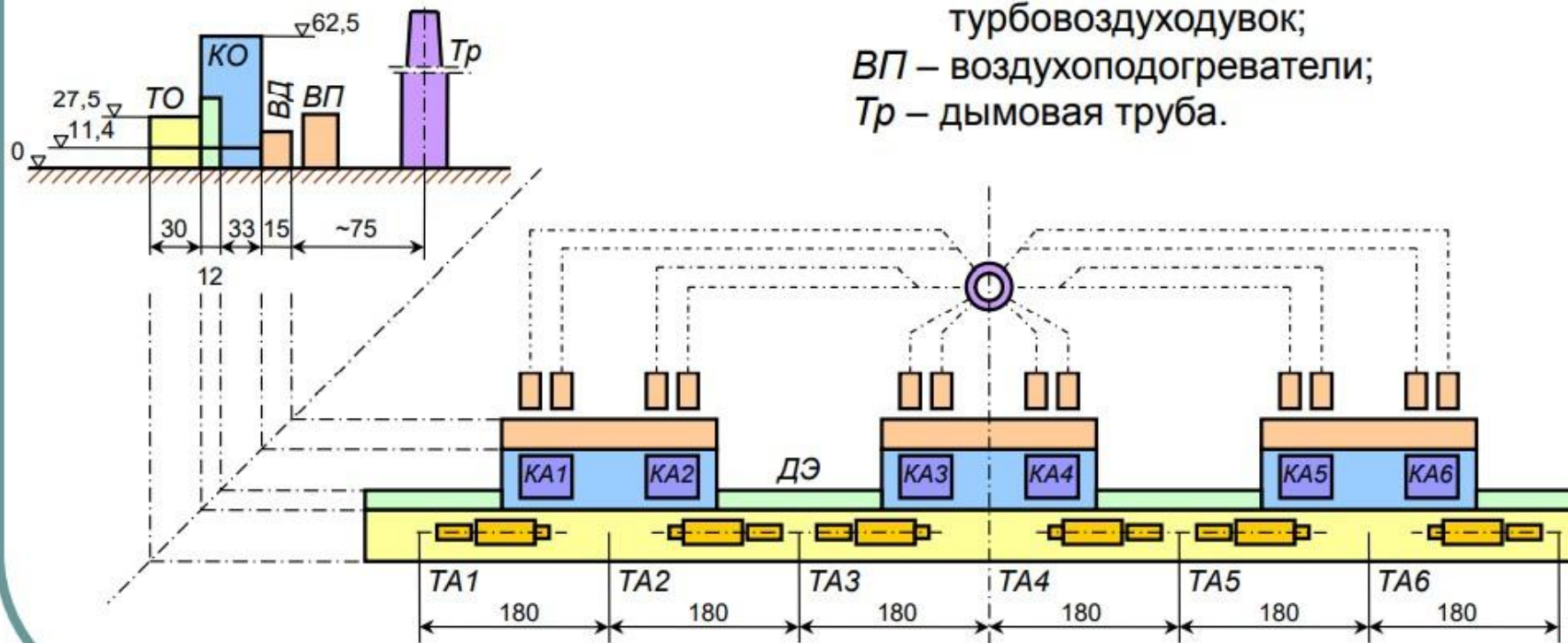
При **больших мощностях** блоков (800, 1200 МВт) **пролёта** турбинных отделений **не хватает** для размещения оборудования, поэтому приходится искать другие решения.

Каждая часть КО оборудуется мостовым краном, **котлы** устанавливаются **парами**.

Встречное расположение турбин - минимизация длины трубопроводов и удобство обслуживания.

Пространство **между КО** используется для открытого размещения **трансформаторов**

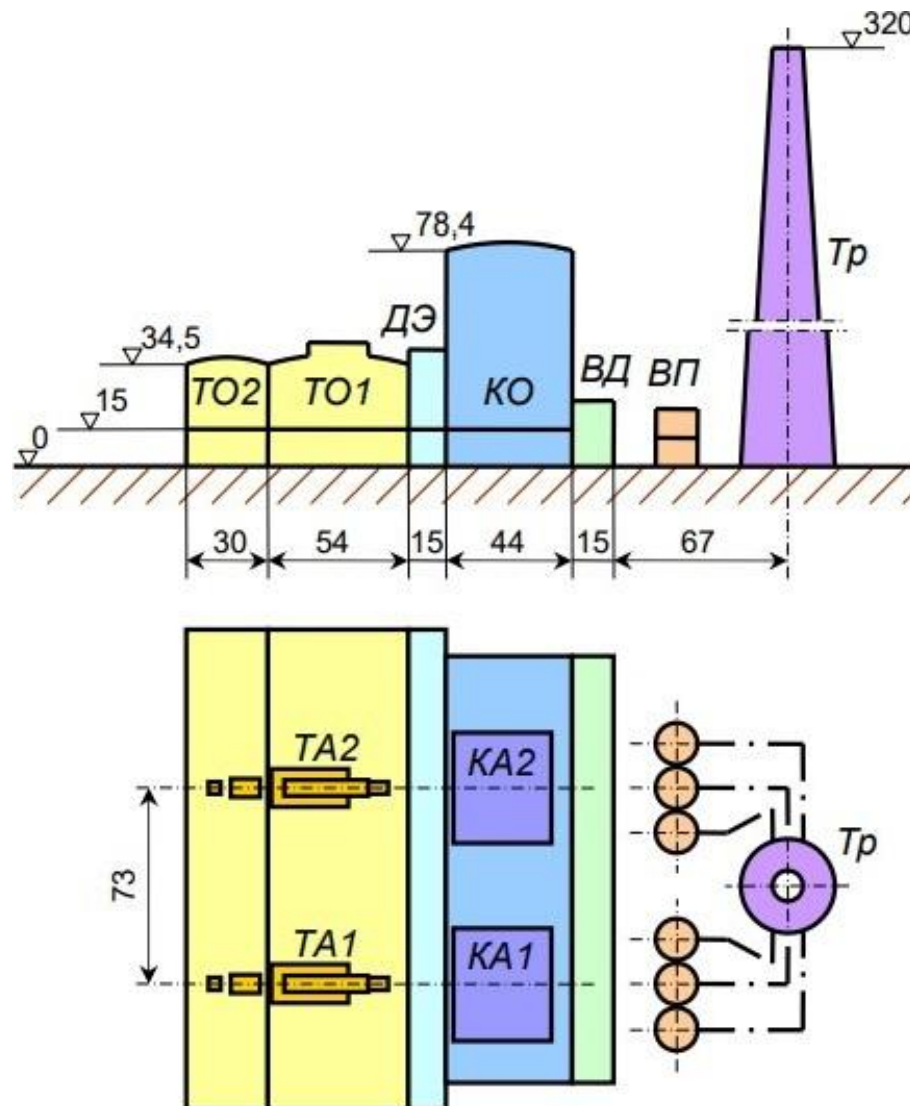
ТО – турбинное отделение;
КО – котельное отделение;
ДЭ – деаэрационная этажерка;
ВД – помещение турбовоздухоудовок;
ВП – воздухоподогреватели;
Тр – дымовая труба.



КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

КОМПОНОВКА ГК ТЭС С ДВУХПРОЛЕТНЫМ ТУРБИНЫМ ОТДЕЛЕНИЕМ

Двухпролётная компоновка при поперечном расположении турбоагрегатов приводит к **снижению стоимости КО**, отсутствуют промежуточные стеновые ограждения, но **стоимость ТО** и грузоподъёмность его механизмов **возрастают**.



ТО1 – главный пролёт турбинного отделения;
 ТО2 – вспомогательный (второй) пролёт турбинного отделения;
 ДЭ – деаэрационная этажерка;
 КО – котельное отделение;
 ВД – помещение турбовоздуходувок;
 ВП – воздухоподогреватели;
 Тр – дымовая труба.

