

ЛЕКЦИЯ 9

КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС

Компоновка – это взаимное расположение оборудования, коммуникаций и строительных элементов здания.

Главный корпус ТЭС – это здание, в котором размещается основное и вспомогательное оборудование, непосредственно участвующее в процессе выработки тепловой и электрической энергии.

Компоновка должна обеспечивать:

- 1) надежное, бесперебойное энергоснабжение потребителей;**
- 2) возможность быстрого и качественного ремонта (должны быть предусмотрены ремонтные и монтажные площадки);**
- 3) обеспечение санитарно-гигиенических условий труда, жизнедеятельности населения в районе ТЭС;**
- 4) безопасность персонала, защиту окружающей среды при авариях, пожарную и взрывобезопасность;**

5) высокие технико-экономические показатели главного корпуса и электростанции в целом (удельные капиталовложения, руб./кВт; себестоимость вырабатываемой энергии, руб./(кВт·ч); срок окупаемости)

6) возможность модернизации оборудования по завершении проектного срока службы, реконструкции здания, а также полный демонтаж с восстановлением на площадке условий «природной лужайки».

ТРЕБОВАНИЯ К КОМПОНОВКАМ ГЛАВНЫХ КОРПУСОВ

**Требования можно разделить
на следующие группы:**

- функционально-технологическая;**
- архитектурно-конструктивная;**
- эксплуатационная, санитарно-
гигиеническая и охраны труда;**
- надежности и безопасности.**

А. Функционально-технологическая группа

А1. Обеспечить кратчайшее расстояние между паровым котлом и турбиной с целью сокращения протяженности наиболее ответственных и дорогостоящих трубопроводов: свежего пара, промперегрева.

А2. Обеспечить минимальную протяженность воздуховодов от воздухоподогревателей к топке котла и в систему пылеприготовления, пылепроводов от мельниц к топке, газоходов от котла к воздухоподогревателям. Обеспечить на указанных коммуникациях минимальное число поворотов, особенно резких.

А3. Обеспечить минимальные расстояния между цилиндрами низкого давления турбины и конденсатором.

А4. Обеспечить минимальную разницу отметок конденсатора и источника водоснабжения, с тем чтобы свести к минимуму расход электроэнергии на питание электродвигателей циркуляционных насосов – одних из наиболее мощных потребителей собственных нужд.

А5. Обеспечить антикавитационный подпор воды на входе в группу питательных насосов, для чего деаэратор обычно размещают на отметке порядка 20 м.

А6. Обеспечить оптимальное размещение конденсатных и питательных насосов, ПВД и ПНД, сетевых подогревателей, ВПУ.

А7. Обеспечить оптимальное размещение воздухоподогревателей, золоуловителей, тягодутьевых машин при минимальной протяженности газоходов на участке: котел–ВЗП–золоуловитель–дымосос.

А8. Обеспечить подачу и отвод охлаждающей воды от конденсатора.

А9. Обеспечить удаление золы и шлаков от котлов.

А10. Обеспечить условия для эксплуатации, ремонта, монтажа и демонтажа оборудования, в том числе необходимое пространство:

- перед конденсатором для заводки и выемки трубок длиной до 9 м и более;**
- над корпусом ПВД и ПНД для установки и извлечения трубных систем.**

Обеспечить условия и средства для транспортировки грузов, оборудования в пределах здания. Транспортировка осуществляется обычно мостовыми кранами.

A11. При размещении нескольких энергоблоков в одном здании создать оптимальные условия для эксплуатации, ремонта первого и всех последующих агрегатов при продолжающемся строительстве.

Б. Архитектурно-конструктивная группа

Б1. Объемно-планировочное решение должно соответствовать принятой в строительстве модульной системе, позволяющей широко использовать унифицированные конструкции заводского изготовления, индустриальные методы строительства.

Б2. Обеспечить высокие технико-экономические показатели компоновки, которые определяются стоимостью основных материалов и конструкций на 1 м³ объема, 1 м² площади здания, на 1 кВт установленной мощности и достигаются следующими основными способами:

- расположение тяжелого оборудования на нулевой отметке (снижение нагрузки на конструкции);**
- ограничение высоты пролета;**
- размещение в одном здании нескольких энергоблоков.**

***В. Группы эксплуатационная,
санитарно-гигиеническая и охраны
труда***

В1. К оборудованию должен быть свободный доступ ремонтно-эксплуатационного персонала. Предусматриваются проходы между рядом стоящим оборудованием, а также между оборудованием и строительными конструкциями.

В2. Оборудование должно быть обеспечено необходимыми ограждающими, предохранительными и защитными устройствами, особенно вращающиеся и движущиеся части.

В3. Проемы, площадки, лестничные марши должны иметь надежное ограждение, в частности защитную полосу высотой 100–150 мм внизу по всему периметру ограждения.

В4. Обеспечить в соответствии с санитарными нормами и правилами на рабочих местах необходимые условия

по освещенности, температурному и влажностному режиму, что достигается следующими способами:

- комбинацией естественного и искусственного освещения;**
- организацией приточно-вытяжной вентиляции;**
- обеспечение в местах постоянного пребывания персонала тепло- и звукоизоляции.**

В5. Для персонала должны быть предусмотрены санитарно-бытовые помещения. Санитарно-бытовой блок часто устраивается в отдельно стоящем здании вместе с административным и инженерным блоком, соединяясь с главным корпусом переходной галереей. В главном корпусе в этом случае размещаются лишь туалеты, умывальники и устройства питьевого водоснабжения.

Г. Надежность, безопасность

Под надежностью понимают бесперебойное функционирование ТЭС (бесперебойное снабжение потребителей энергией).

Одна из основных задач обеспечения высокой надежности и безопасности ТЭС – снизить вероятность возникновения пожара, взрыва, ограничить его распространение, уменьшить последствия.

Опасность пожара и взрыва в главном корпусе связана со следующими процессами:

- скопление, взрыв природного газа или возгорание жидкого топлива;**
- взрыв угольной пыли в системах топливоподачи, пылеприготовления;**
- разгерметизация и взрыв в системе охлаждения генератора водородом;**
- возгорание при утечке масла из маслосистемы турбоагрегата.**

Основные требования, связанные с обеспечением надежности и безопасности компоновки:

Г1. Обеспечение необходимой степени огнестойкости здания и строительных конструкций.

Г2. Размещение пожаровзрывоопасных систем в помещениях с ограждающими конструкциями высокой степени огнестойкости (железобетон, кирпича).

Г3. Организация в ограждающих конструкциях легко сбрасываемых элементов, что позволяет сохранить целостность, несущую способность каркаса здания. К таким элементам прежде всего относится остекление.

Г4. Организация на случай пожара рассредоточенных эвакуационных путей

для персонала через коридоры, лестничные клетки, наружные лестницы.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГЛАВНЫХ КОРПУСОВ

Основной строительной частью главного корпуса ТЭС является его каркас, который может сооружаться как из железобетона, так и из металла.

В настоящее время каркасы главных корпусов и большинства вспомогательных зданий ТЭС выполняется из металлических конструкций.

Широкое использование металлоконструкций связано со следующими их достоинствами:

1) Зимнее строительство. Технология возведения здания из металлоконструкций зимой совершенно не меняется в сравнении с летним периодом.

2) Транспортировка и доставка. В сравнении с железобетоном металлоконструкции легкие и компактные. Их перевозка ж/д и автомобильным транспортом будет гораздо дешевле.

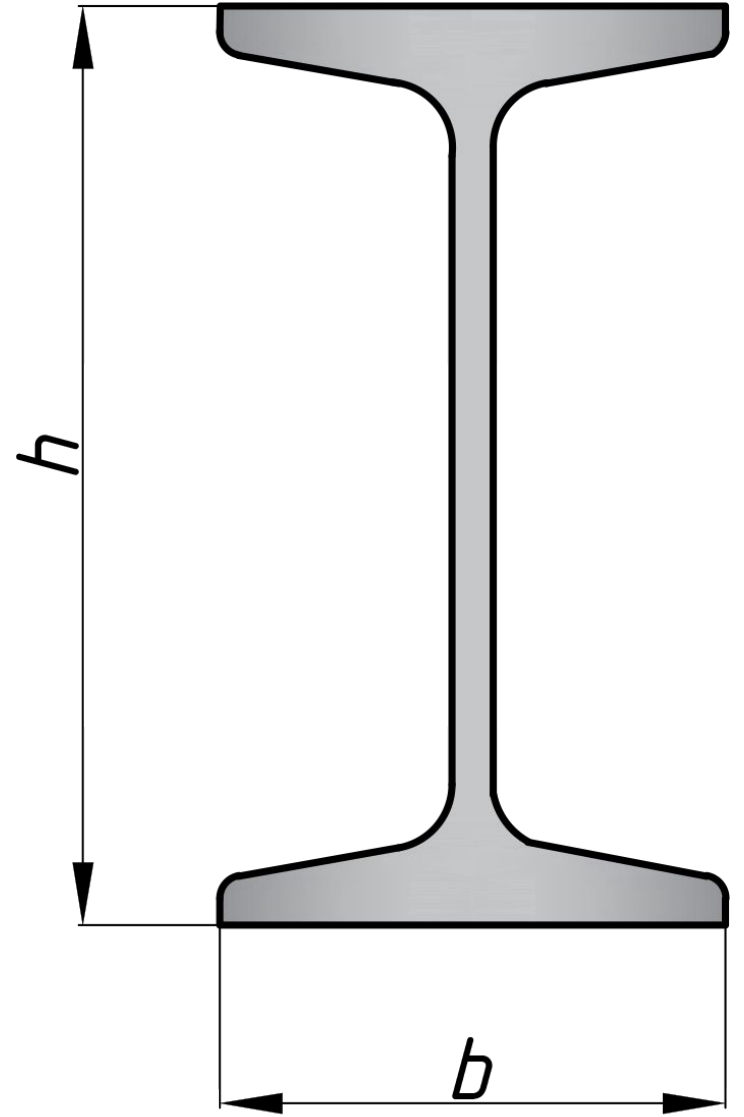
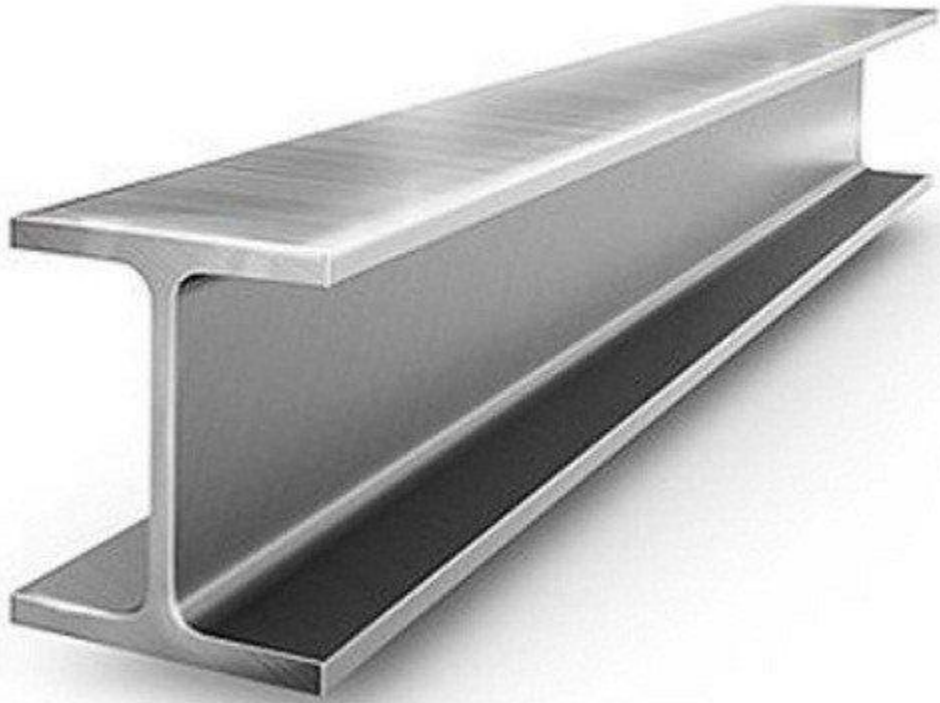
3) Сроки строительства. Здания на основе металлокаркаса получили название быстровозводимые. Стальные конструкции изготавливаются в заводских условиях. Поэтому их остается только собрать на месте и смонтировать.

4) Сборно-разборный каркас. Благодаря этой функции металлоконструкций, строителям не составит труда заменить повреждённую металлоконструкцию.

ЭЛЕМЕНТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

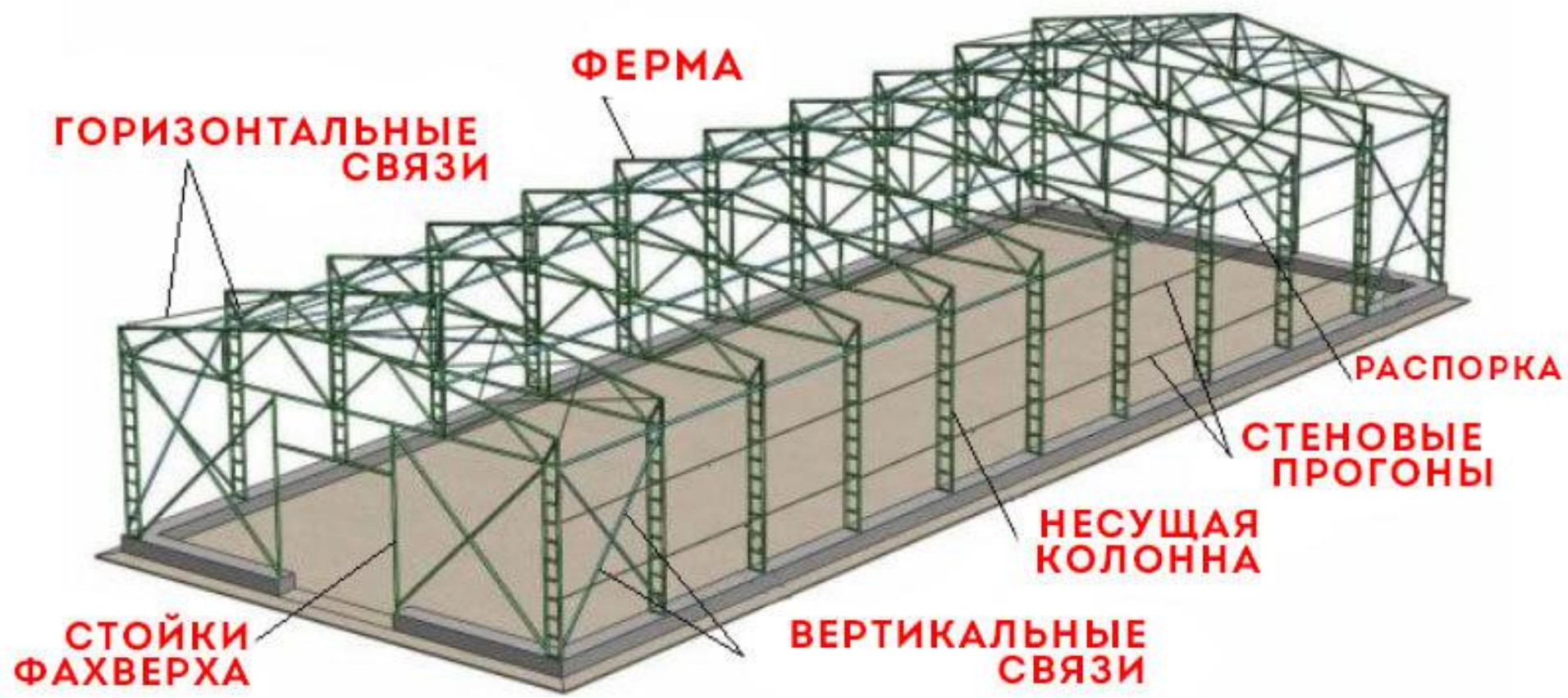
1. Колонны.

Колонны являются основными составляющими каркаса, служащими для формирования габаритов здания и для передачи всех видов нагрузок на фундаменты. Для каркасов главных корпусов, как правило, применяются сварные колонны двутаврового сечения: высота двутавра 1000 – 2500 мм, ширина полок 400 – 1000 мм.



2. Распорки и связи.

Распорки и связи соединяют колонны между собой, обеспечивая устойчивость колонн вдоль здания. В качестве связей используют трубчатые профили и двутавровые сечения.



3. Ригели и балки перекрытий.

Ригели соединяют вертикальные конструкционные элементы каркаса, являясь опорами для плит перекрытий.

Ригель можно считать горизонтальной балкой с особыми несущими функциями (принимает нагрузки с любых направлений) в качестве основного опорного элемента каркаса здания.

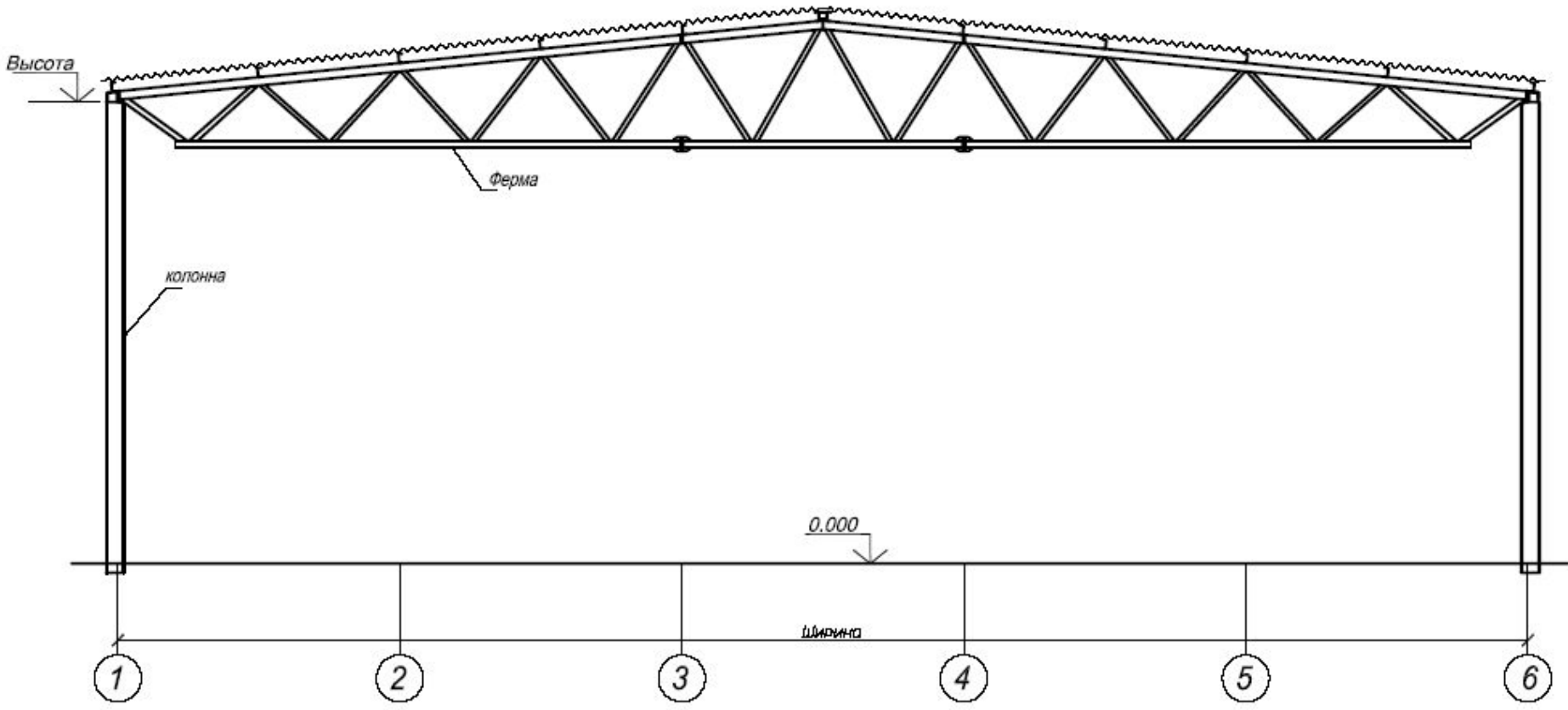
4. Стропильные конструкции.

Стропильные конструкции – это несущие конструкции кровли.

Выполняются в виде ферм или балок.

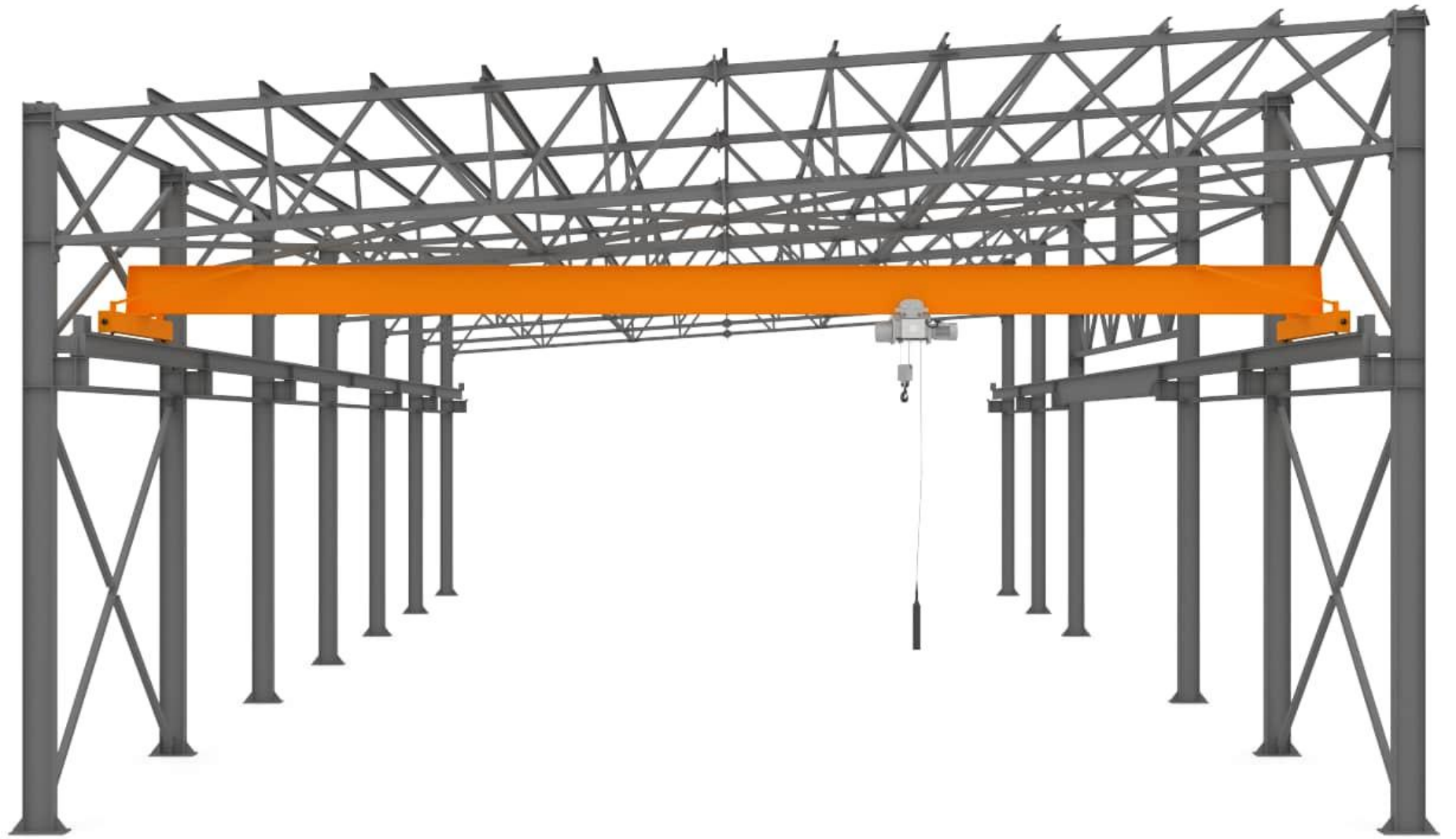
Стропильная ферма – это решетчатая конструкция.

Высота



5. Подкрановые конструкции.

Главные корпуса ТЭС оборудуются мостовыми кранами которые используют для монтажа и ремонта оборудования.



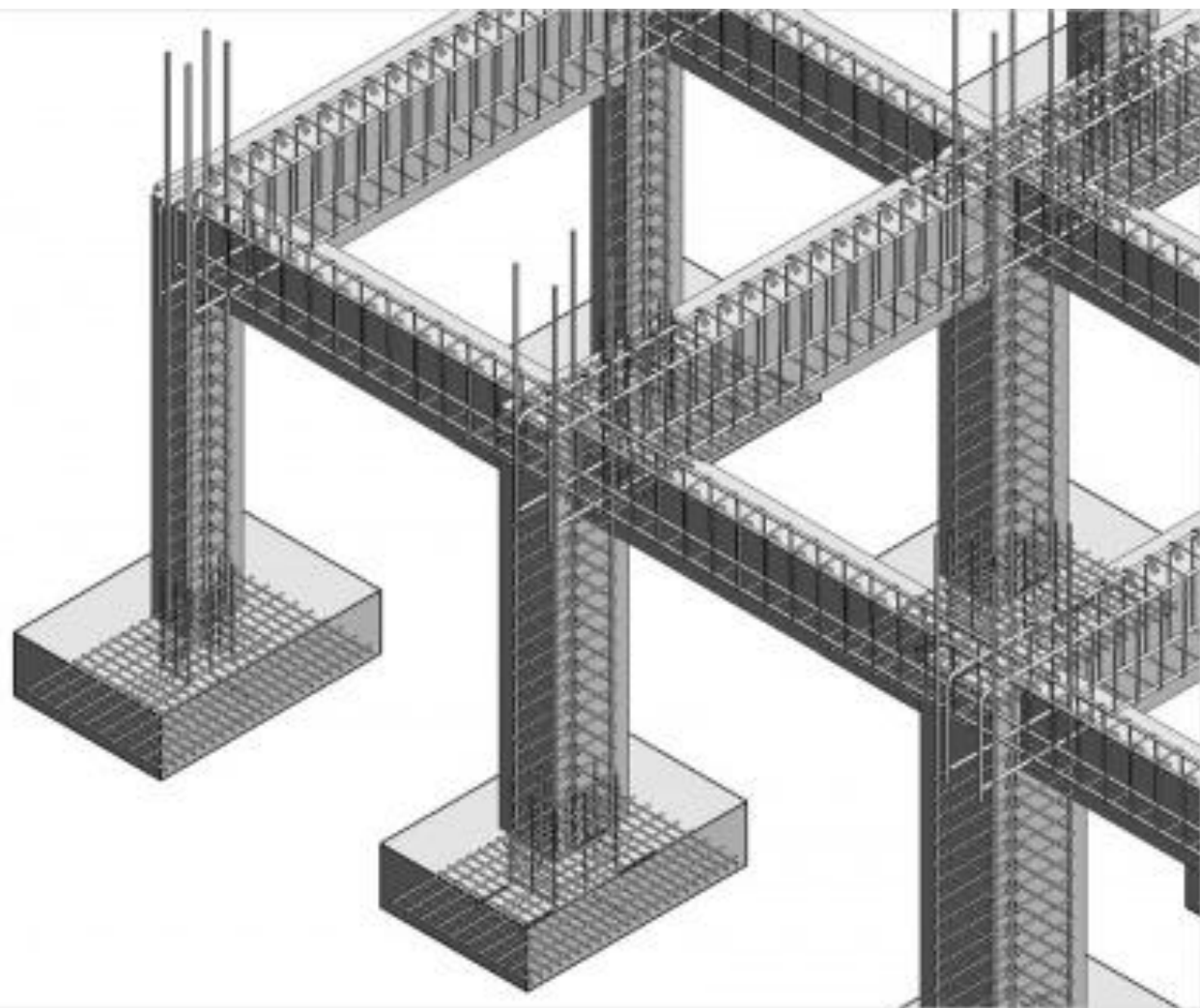
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГЛАВНЫХ КОРПУСОВ

Из железобетона выполняют фундаменты, перекрытия зданий, градирни, дымовые трубы.

Железобетон – это композитный материал, состоящий из бетона и металлической арматуры.

Преимущества железобетона:

- 1) Низкая стоимость в сравнении с металлоконструкциями.**
- 2) Огнестойкость.**
- 3) Устойчивость к коррозии.**





До середины XX в. в отечественном строительстве применяли исключительно монолитный железобетон.

Монолитные железобетонные изделия создаются непосредственно на строительной площадке путём укладки бетона в опалубку.

В 50-60-е гг. XX в. для строительства зданий и сооружений ТЭС был разработан комплекс сборных железобетонных конструкций. Это позволило уменьшить трудозатраты на стройплощадке и сократить сроки

В компоновке различают постоянный и временный торец главного корпуса. *Постоянным* называется торец, от которого начинается строительство корпуса. Отсюда же нумеруются ряды колонн главного здания.

***Временным* торцом называется противоположный торец здания, в направлении которого ТЭЦ расширяется при дальнейшем**

строительстве

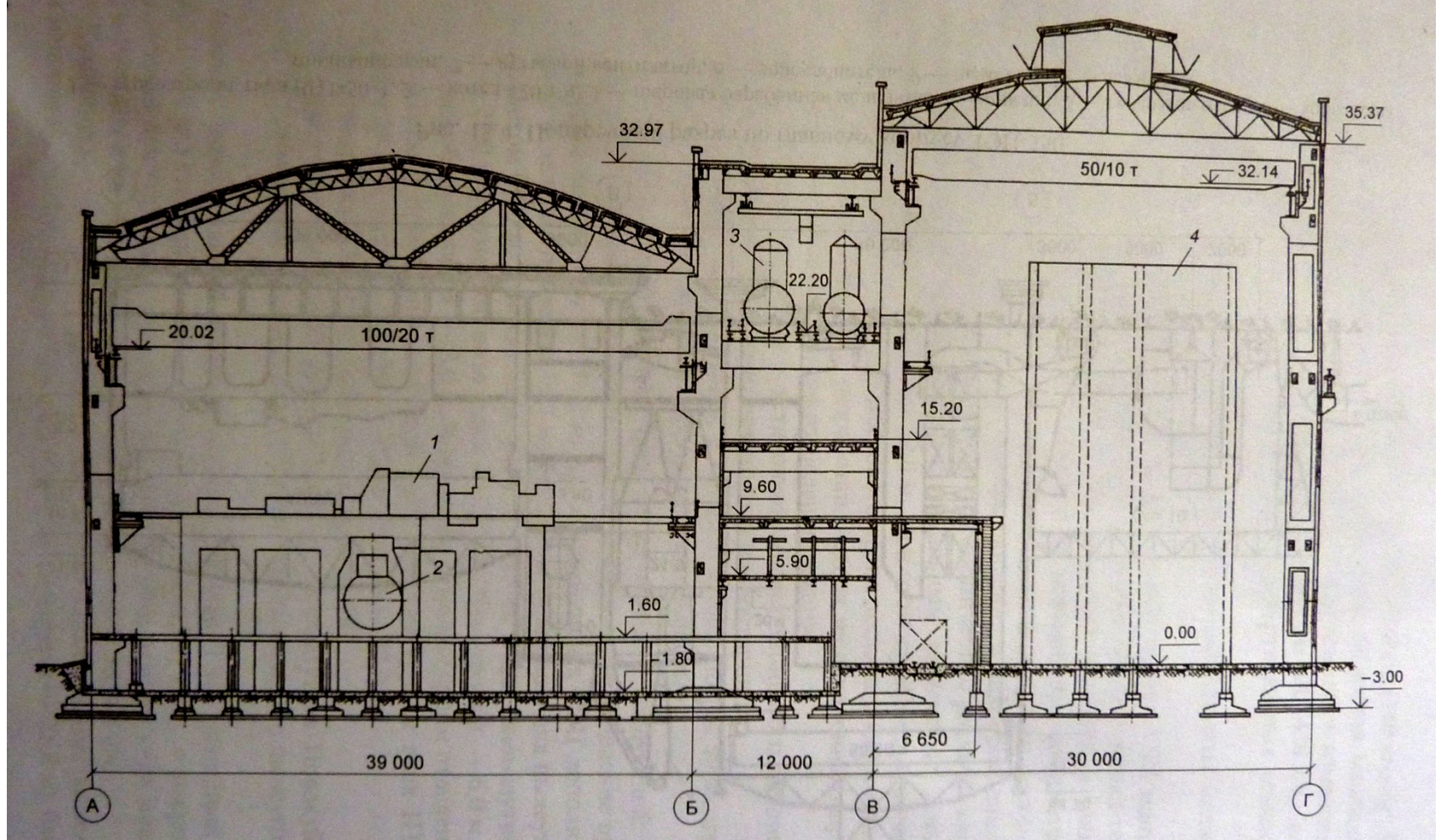
Более половины капитальных затрат на строительство ТЭС приходится на оборудование и строительную часть главного корпуса. Показателем качества проекта компоновки главного корпуса ТЭС является его удельный строительный объем (на 1 кВт установленной мощности). Для современных ТЭС этот показатель составляет около 0,6 – 1,5 м³/кВт.

Компоновка ТЭС со сдвоенным расположением бункерного и деаэраторного отделений



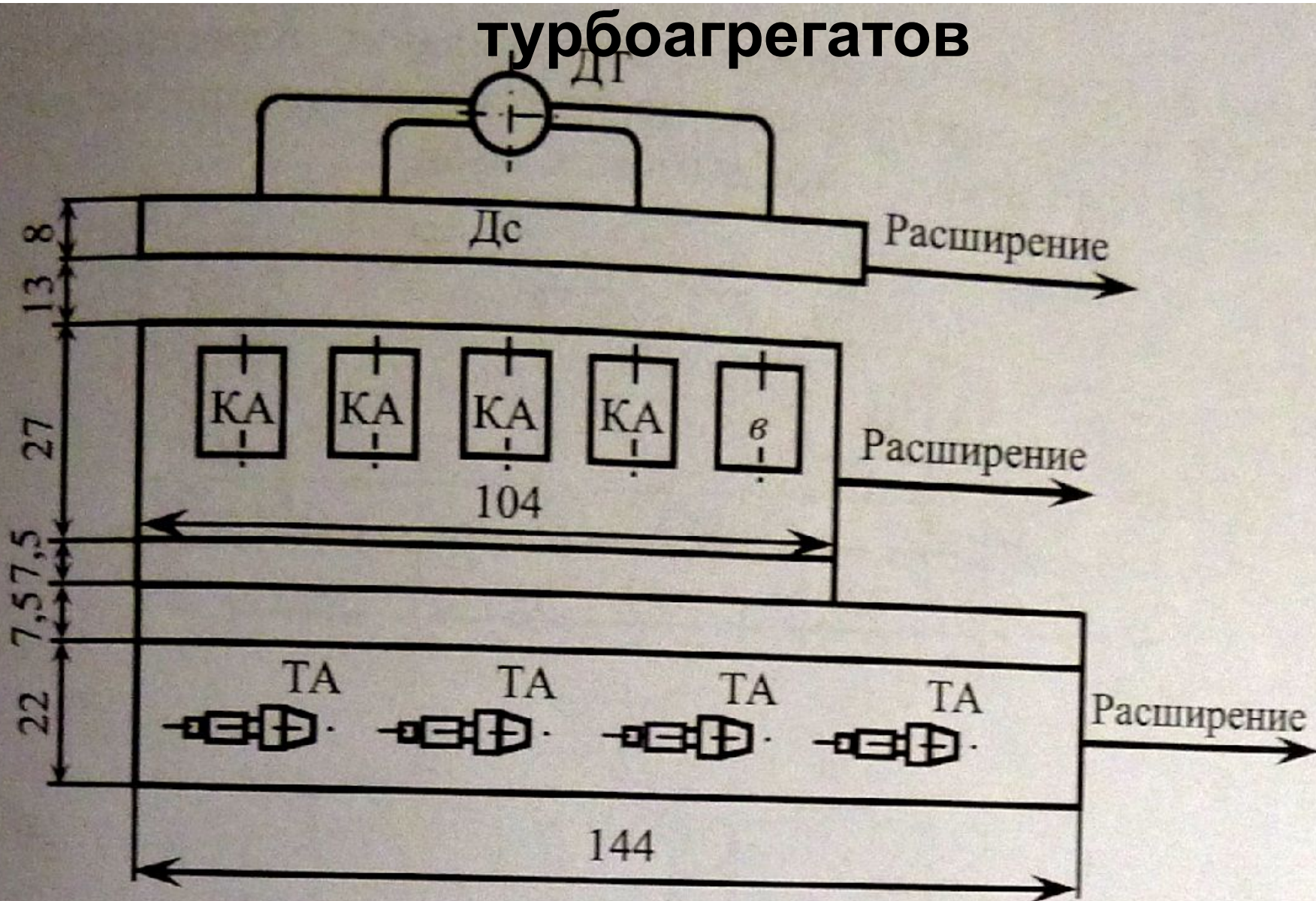
1 – турбоагрегат; 2 – котел; 3 – ШБМ; 4 – циклон; 5 – сепаратор пыли; 6 – бункера пыли; 7 – дутьевой вентилятор; 8 – ЗУ;

Компоновка газомазутной ТЭС

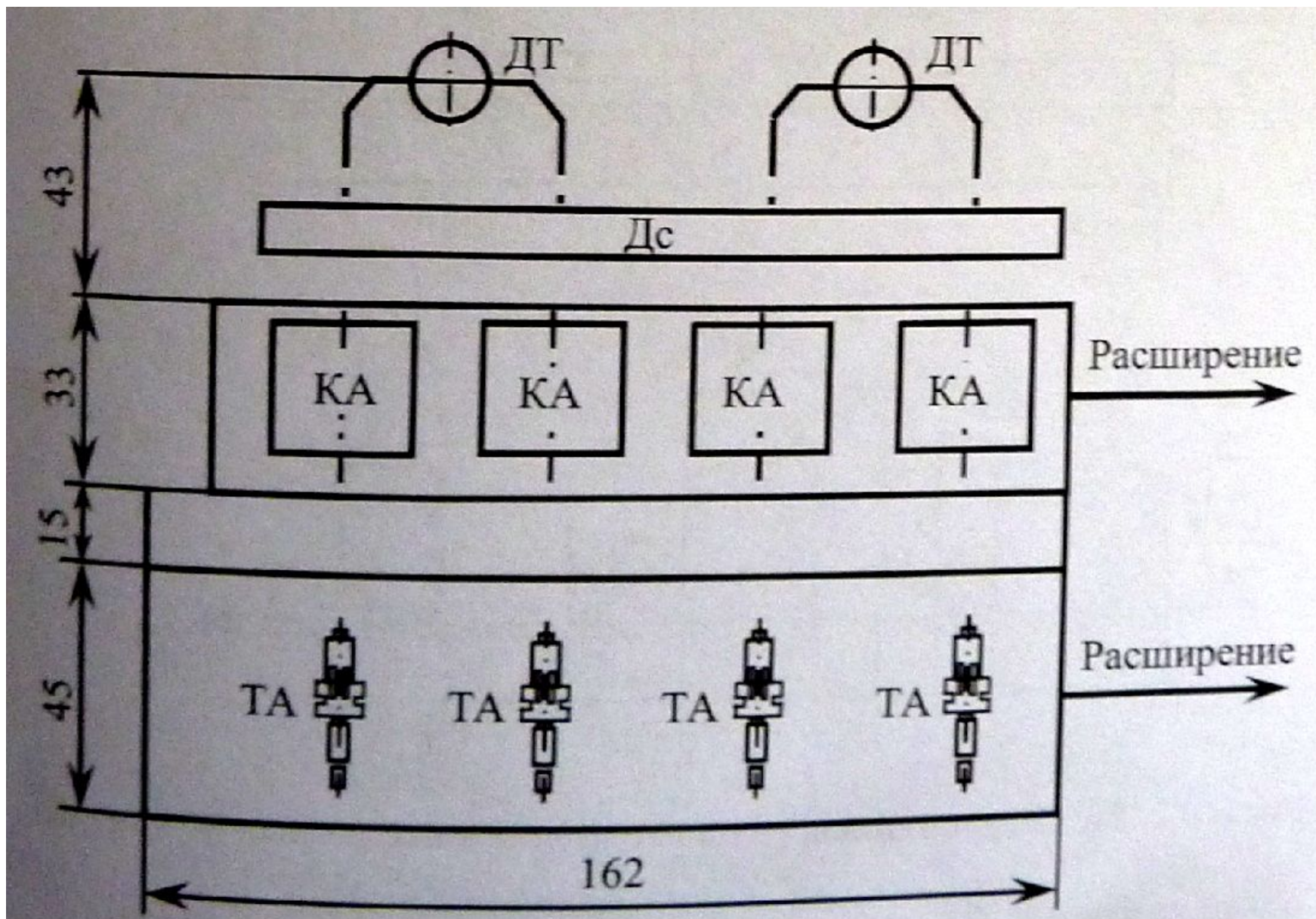


1 – турбоагрегат; 2 – конденсатор; 3 – деаэратор; 4 – котел

План компоновки главного корпуса ТЭС с продольным расположением турбоагрегатов



План компоновки главного корпуса ТЭС с поперечным расположением



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН ТЭС
называется план размещения на
производственной площадке ТЭС всех
основных
и вспомогательных сооружений и
объектов:

- 1) главного корпуса;**
- 2) объектов приема, хранения и
подготовки топлива к сжиганию;**
- 3) объектов, связанных с техническим
водоснабжением;**
- 4) главного распределительного
электрического устройства и ЛЭП;**
- 5) главного электрического щита**

- 6) объектов систем водоподготовки;**
- 7) пиковой водогрейной котельной;**
- 8) административного, бытового
и инженерного корпусов;**
- 9) золоотвалов и пульпопроводов к
нему.**

На генеральном плане ТЭС изображается «роза ветров». С учетом «розы ветров» выбирается место для строительства жилого поселка при ТЭС и других населенных пунктов, а также для золоотвала.

Схема генерального плана
Севастопольской ПГУ-ТЭС



Перечень основных зданий и сооружений

- 1 Главный корпус
- 2 Объединенный вспомогательный корпус
- 3 ОРУ 330кВ
- 4 Здания и сооружения технического водоснабжения
- 5 Хозяйство дизельного топлива
- 6 Очистные сооружения дождевых сточных вод
- 7 Административный корпус

Перечень зданий и сооружений подготовительного периода строительства

- I Временный городок строителей
- II База оборудования заказчика
- III Временные здания и сооружения Генподрядчика и его субподрядчиков

ТЕХНИЧЕСКОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

ТЭС

Удельный расход воды на ТЭС составляет летом $0,125-0,420 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, в зимний период $0,09-0,30 \text{ м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$.

Если принять расход воды на конденсаторы турбин за 100%, то расход воды другими потребителями ТЭС составляет следующие значения, %:

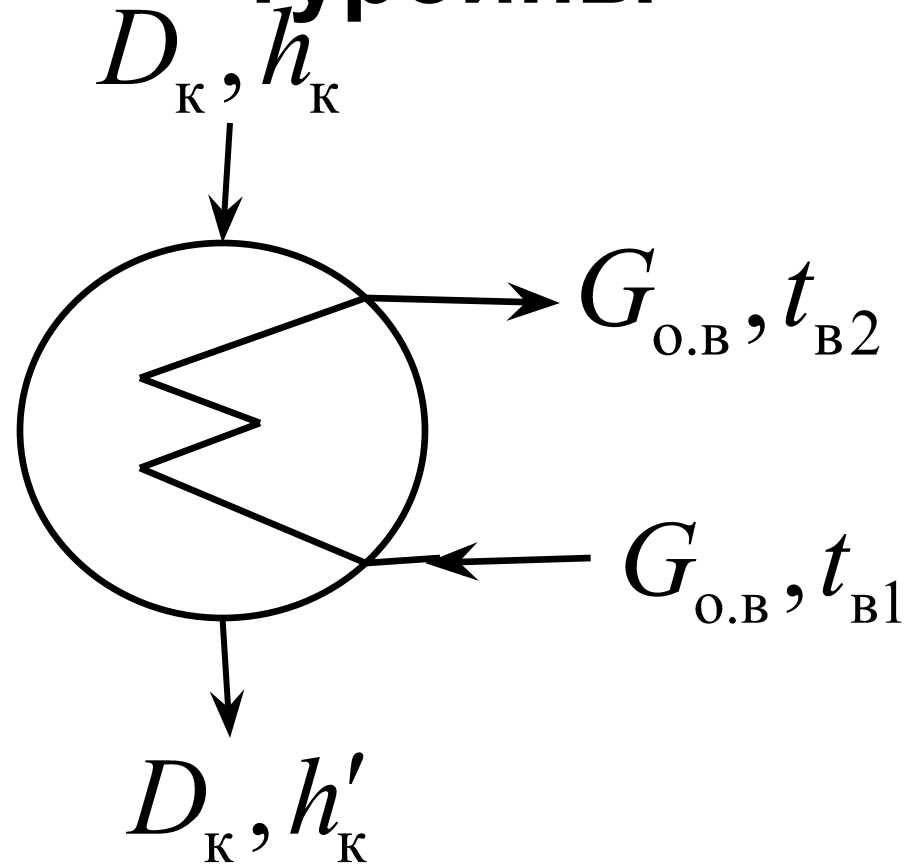
- газо- и воздухоохладители 2,5–12,5;
- добавочная вода на КЭС 0,04–0,12;
- добавочная вода на ТЭЦ 0,5–0,8;
- хозяйственные нужды 0,03–0,05;
- маслоохладители 1,2–3,5;

- **охлаждение вспомогательных механизмов** 0,7 – 1,0;
- **система золошлакоудаления** 2–6;
- **восполнение потерь в системах оборотного водоснабжения** 4–7.

Дополнительный расход воды всеми остальными потребителями составляет порядка 10–25%.

Расход воды на конденсатор определяется по уравнению теплового баланса.

Расчетная схема теплового баланса конденсатора паровой турбины



$$Q_K \neq D_K (h_K - h'_K) = G_{O.B.} p (t_{B2} - t_{B1})$$

Важной характеристикой конденсатора является кратность циркуляции

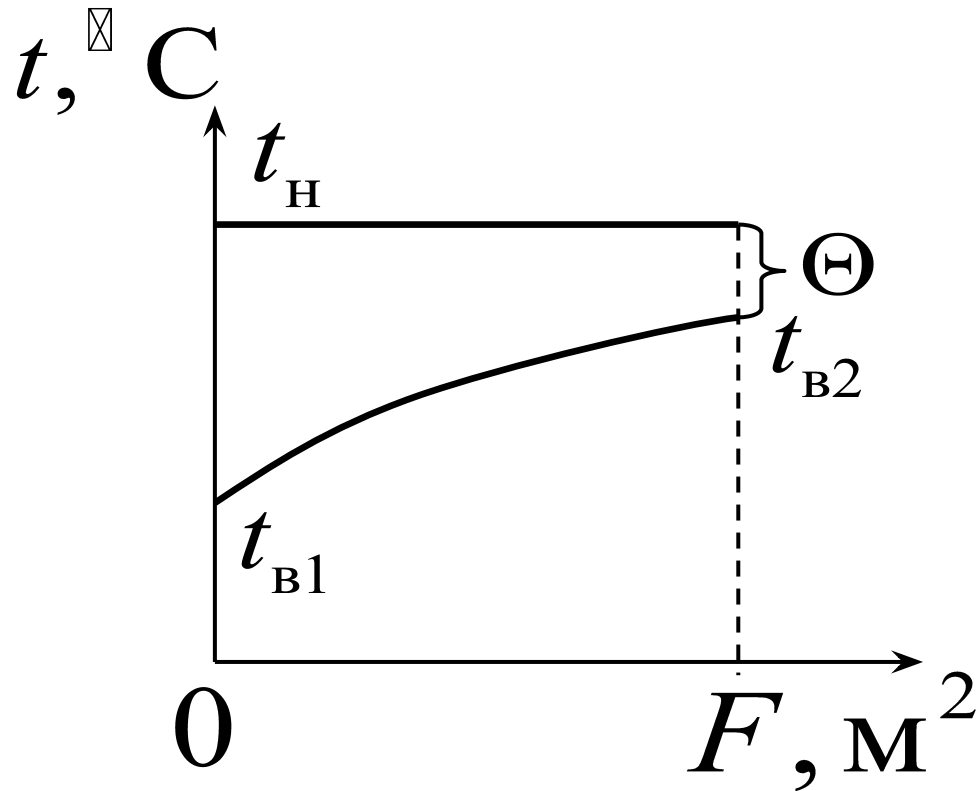
$$m = \frac{G_{\text{о.в}}}{D_{\text{к}} t} = \frac{(h_{\text{к}} - h'_{\text{к}})}{p(t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}})} = \frac{q_{\text{к}}}{\Delta_{\text{в}}}$$

Для одноходовых конденсаторов $m = 100-110$ т воды/т пара. Для двухходовых конденсаторов $m = 50-70$ т воды/т пара.

$$t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}} = \frac{h_{\text{к}} - h'_{\text{к}}}{\frac{G_{\text{о.в}}}{D_{\text{к}}} c_p} = \frac{2180}{4,19m} = \frac{520}{m}$$

Величина недогрева охлаждающей воды до температуры насыщения в конденсаторе

$$\Theta = t_{\text{H}} - t_{\text{B2}} \in 3 - 5^{\circ}$$



Классификация схем технического водоснабжения

Системы технического водоснабжения подразделяют на *прямоточные, оборотные* и *смешанные*.

при выборе системы технического водоснабжения следует учитывать следующие факторы:

1) наличие вблизи станции достаточного природного источника воды и возможность его использования для водоснабжения с учетом его водно-хозяйственного значения (судоходство, рыболовство, уникальность);

2) удаленность природного источника от ТЭС и разность геодезических уровней между источником и площадкой ТЭС;

3) качество воды в источнике.

Прямоточная система технического водоснабжения

***Прямоточная* система водоснабжения применяется только в том случае, если минимальный расход воды в реке по крайней мере в 4 раза превышает потребности в воде ТЭС. Речная вода проходит через конденсатор один раз и после этого сбрасывается в реку. Сброс производится ниже по течению.**

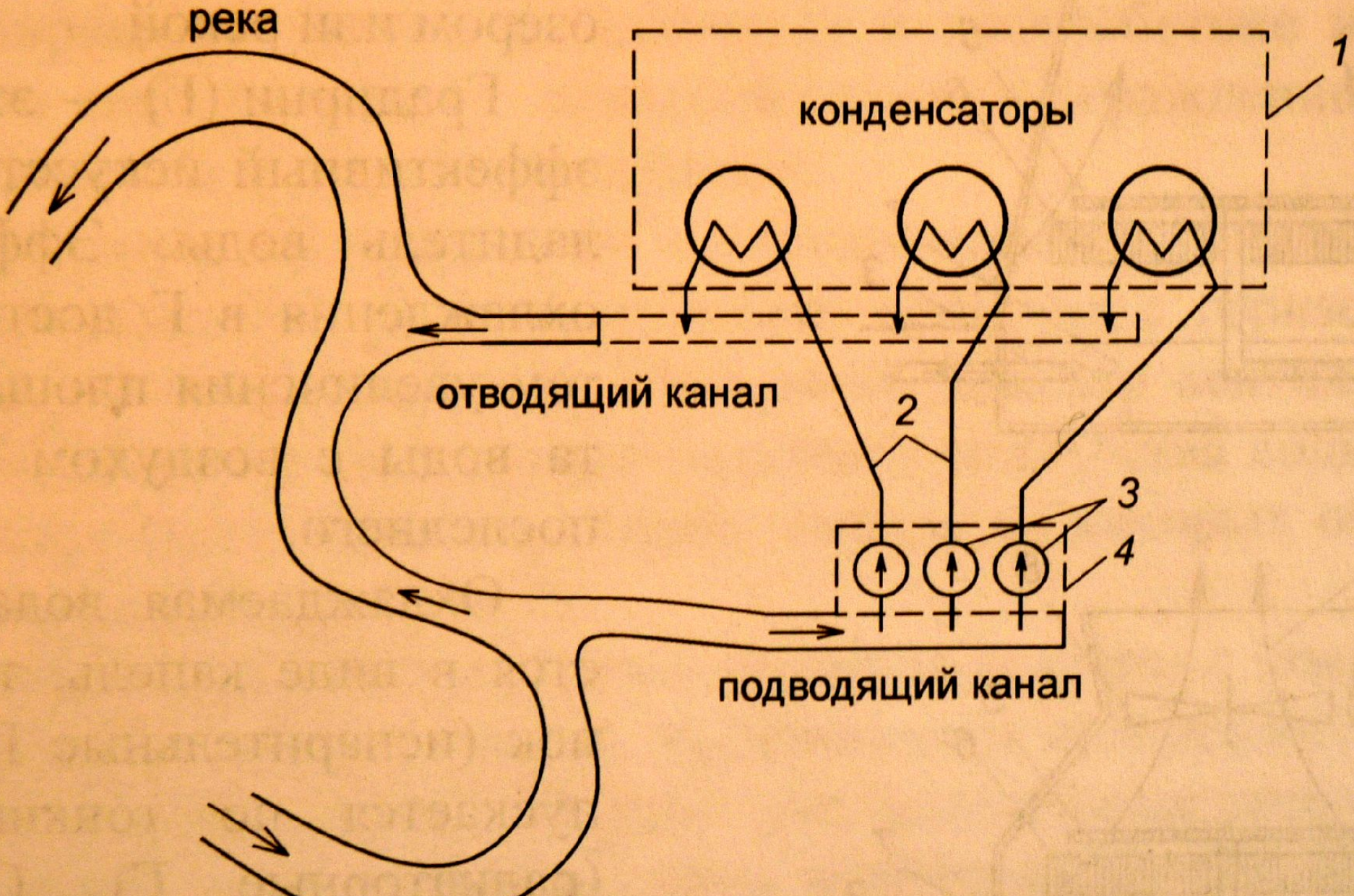
Преимуществами прямоточной системы водоснабжения являются низкая температура воды, обеспечивающая глубокий вакуум в конденсаторе турбины, недорогие гидротехнические сооружения.

При использовании прямоточной системы водоснабжения ТЭС размещается на берегу реки. Территория ТЭС должна быть незатопляема, т.е. река должна иметь незначительные колебания уровня воды.

При применении прямоточной системы циркуляционные насосы размещают на береговой насосной станции.

Вода, поступающая в циркуляционную систему, проходит через механические решетки для очистки ее от крупного мусора. Дополнительно очистка циркуляционной воды производится на вращающихся сетках с размерами ячеек от 2 до 4 мм.

Прямоточная система водоснабжения



Оборотная система циркуляционного водоснабжения применяется, если по техническим или экономическим причинам нельзя использовать прямоточную. В оборотных системах вода используется многократно, периодически охлаждаясь в охладительных устройствах.

В качестве охлаждающих устройств могут использоваться природные или искусственные водохранилища (пруды-охладители), градирни или брызгальные бассейны.

Особенности оборотных систем:

- 1) более высокая температура циркуляционной воды, а значит более низкий вакуум в конденсаторе турбин;**
- 2) зависимость работы охлаждающего устройства от метеорологических условий (температуры воздуха, скорости ветра);**
- 3) необходимость восполнения потерь воды в охлаждающем устройстве.**

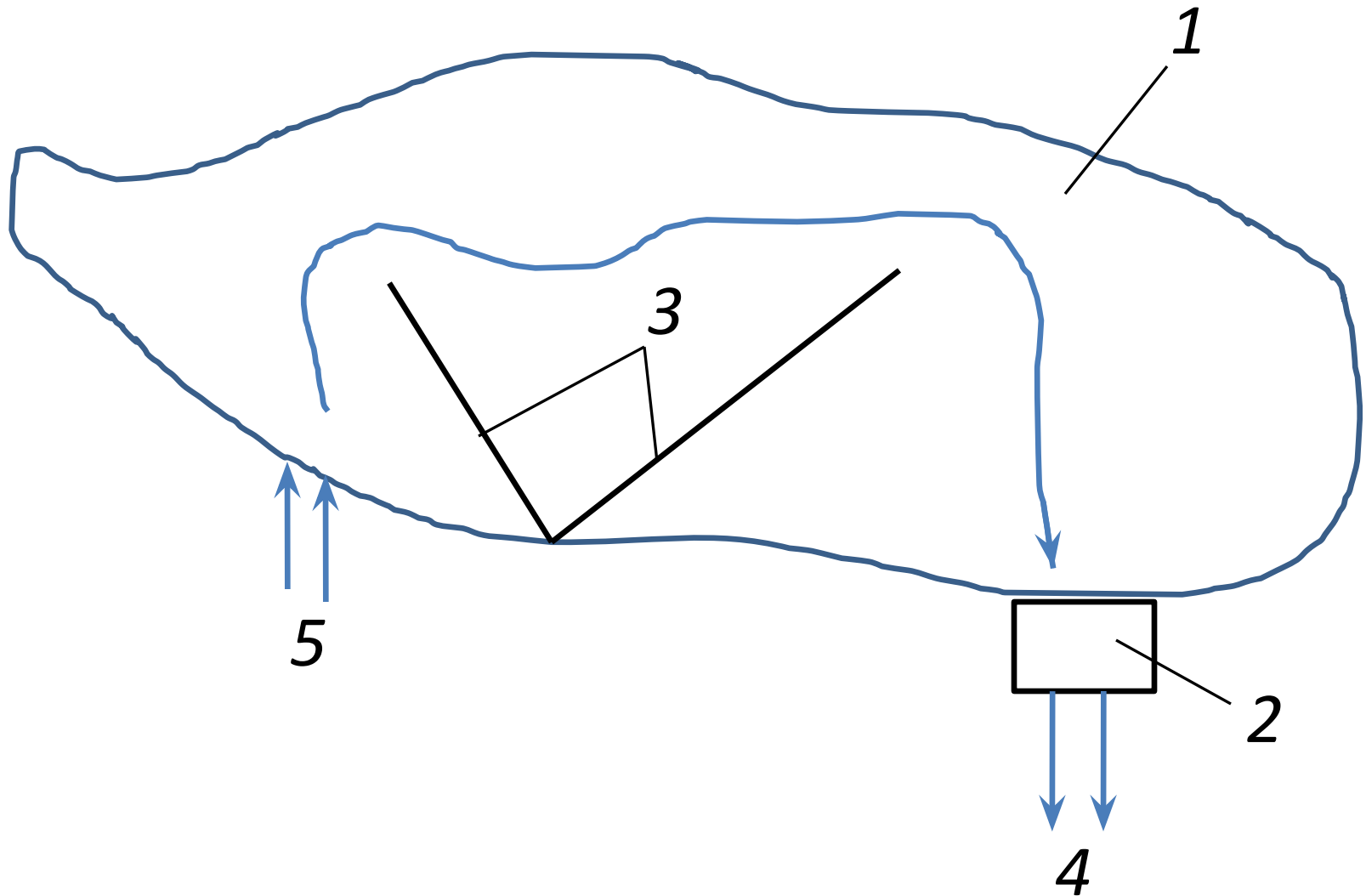
Пруды-охладители широко применяются в нашей энергетике. Они создаются на базе небольшой реки с переменными расходами воды.

Для задержки воды устанавливается плотина и образуется водохранилище.

Из водохранилища вода подается на конденсатор турбины. После конденсатора вода сбрасывается на расстояние, обеспечивающее ее охлаждение на 8–12 °С (10 км и более).

Удельная площадь поверхности пруда-охладителя, необходимая для охлаждения сбрасываемой теплой воды, равна 3–8 км² на 1000 МВт. Градирни, обеспечивающие аналогичную мощность охлаждения, занимают площадь не более 0,03 км². Однако стоимость системы водоснабжения с градирнями в 1,5 раза выше, чем с прудом-охладителем в 2,5 раза выше прямоточной.

Схема оборотной системы с прудом-охладителем



Вода охлаждается за счет перемешивания с основным объемом, за счет испарения с поверхности и за счет конвективного теплообмена с воздухом.

Для характеристики прудов-охладителей используют понятие *активной площади* – площади, занимаемой движущимися потоками:

$$F_{\text{акт}} = kF_{\text{пр}},$$

где $F_{\text{пр}}$ – площадь полной поверхности пруда; k – коэффициент использования поверхности (для вытянутой формы $k = 0,8–0,9$; для круглого пруда $k = 0,4–0,5$).

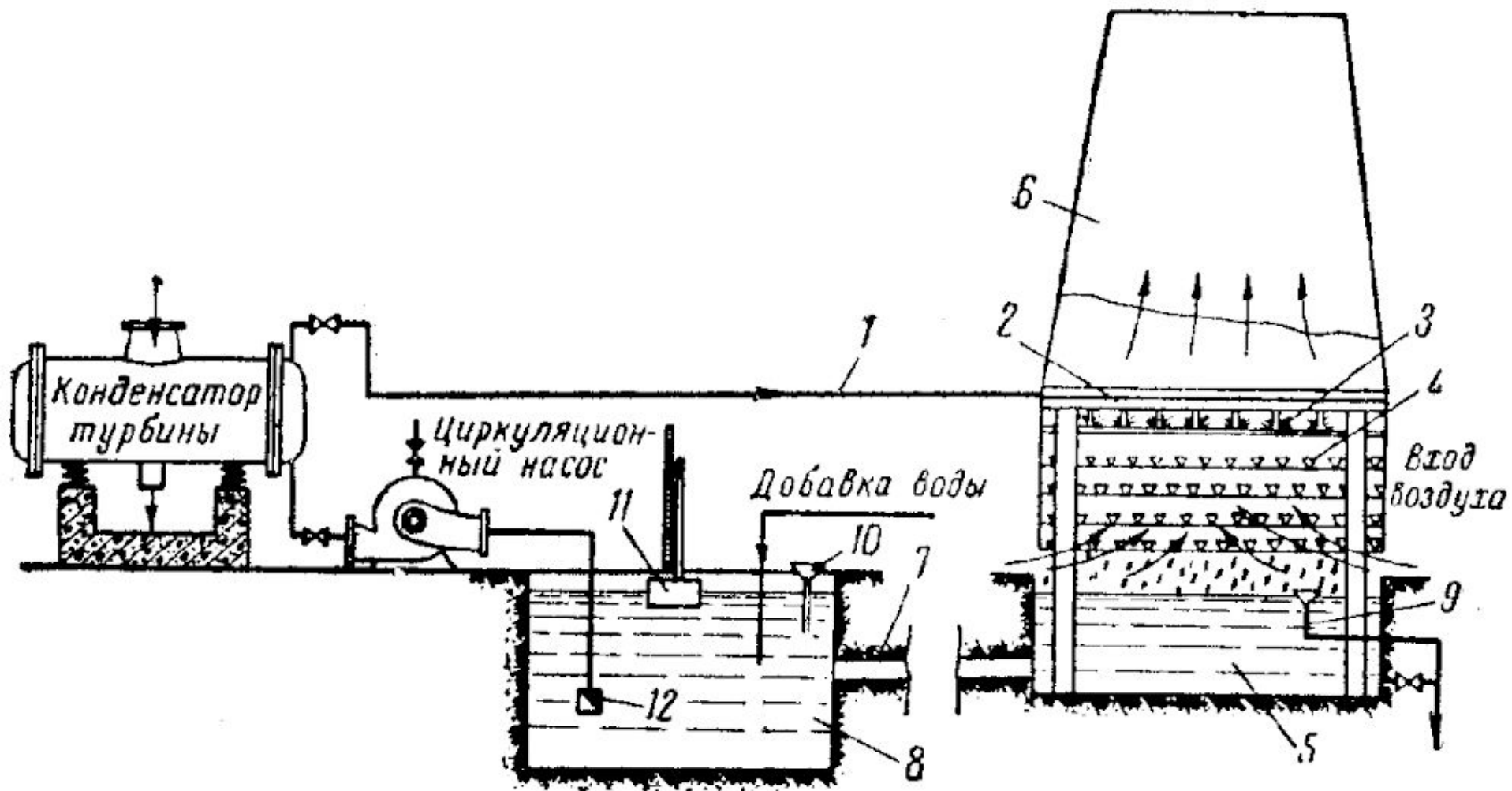
Системы обратного водоснабжения

с градирнями

На промышленных и отопительных ТЭЦ для охлаждения циркуляционной воды наиболее часто применяются градирни.

Их особенностью является компактность.

***Градирня* – это теплообменное устройство, в котором охлаждение воды происходит за счет ее испарения и конвективного теплообмена с воздухом.**



- 1 – напорный трубопровод; 2 – желоб со сливными трубами; 3 – разбрызгивающие розетки; 4 – оросительное устройство; 5 – сборный бассейн; 6 – вытяжная башня; 7 – самотечный канал; 8 – приемный колодец; 9 – продувка

По типу исполнения градирни бывают *башенные, открытые* и *вентиляторные*.

В башенных градирнях движение воздуха создается вытяжной башней, в вентиляторных – вентиляторами, а в открытых – естественным движением воздуха (ветром).

По способу образования поверхности охлаждения градирни бывают *пленочные, капельные* и *брызгальные*.

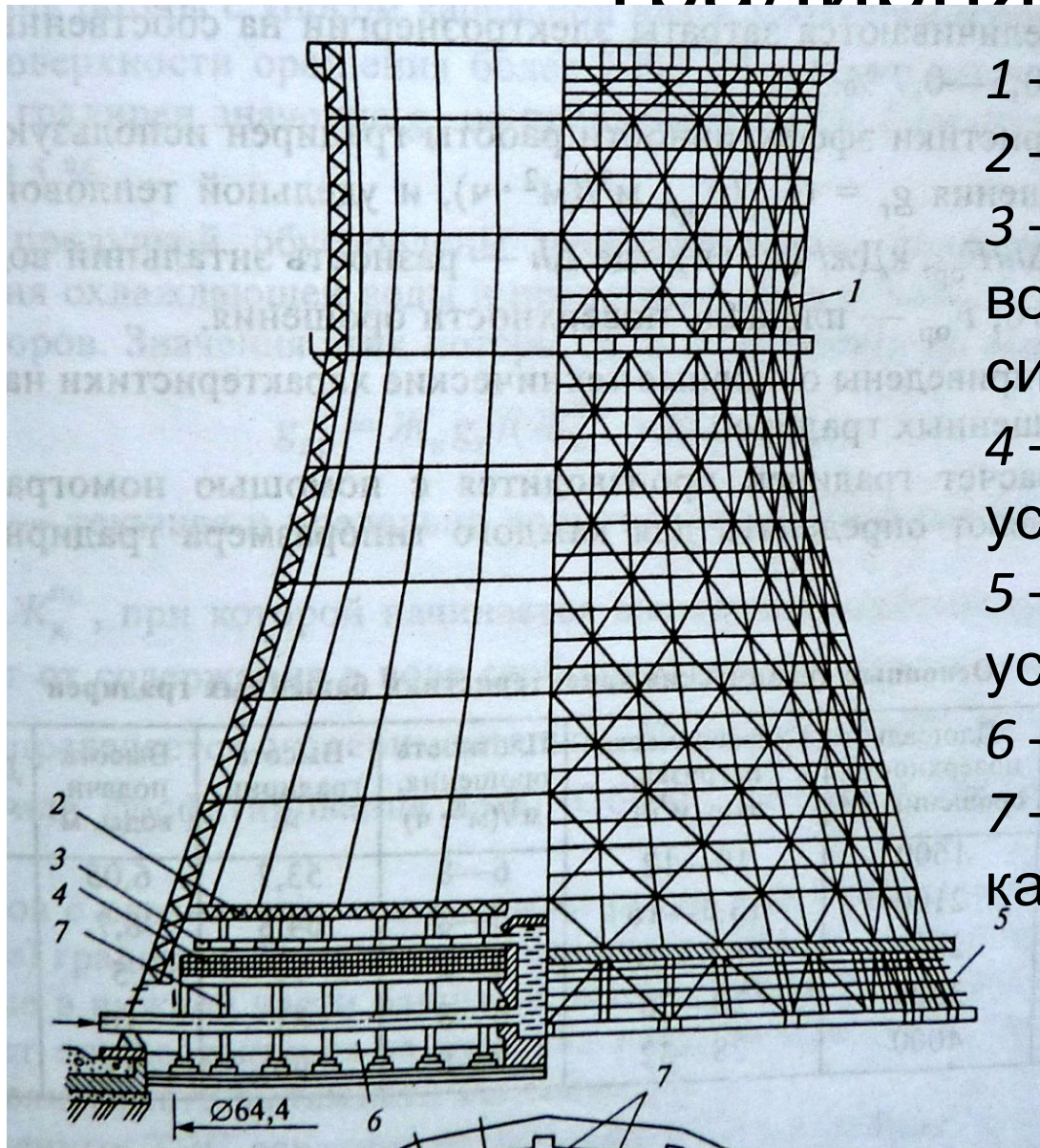
Для увеличения контакта воды с воздухом применяются различные оросительные устройства, с помощью которых вода, подаваемая из конденсатора, разделяется на струи или капли и стекает вниз. Охлаждение воды происходит за счет испарения и контакта с воздухом, поступающим в оросительные устройства через окна. Нагретый и насыщенный водяным паром воздух отводится из градирни.

В пленочных градирнях оросительное устройств выполняется в виде щитов, изготовленных из асбоцементных листов, или гофрированных листов, изготовленных из полипропилена, поливинилхлорида (ПВХ) или пластмассовых элементов, имеющих форму сот. Устанавливаются они вертикально или с небольшим уклоном. Пленки нагретой воды стекают по листам и при контакте с воздухом охлаждаются. Воздух движется между

Пленочные оросители



Башенная противоточная градирня



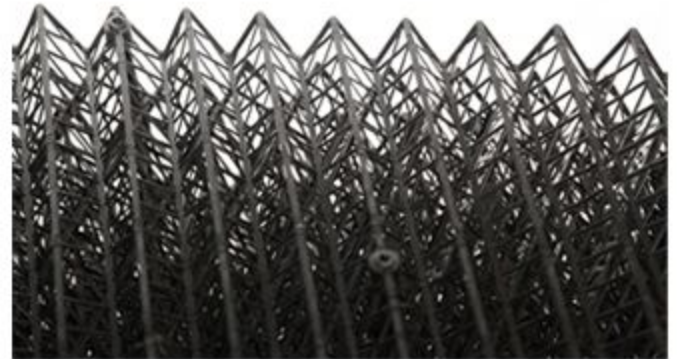
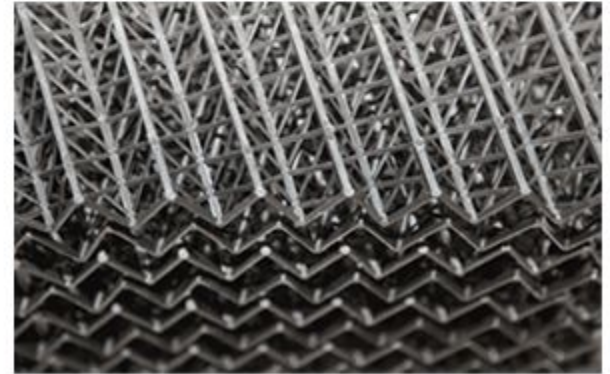
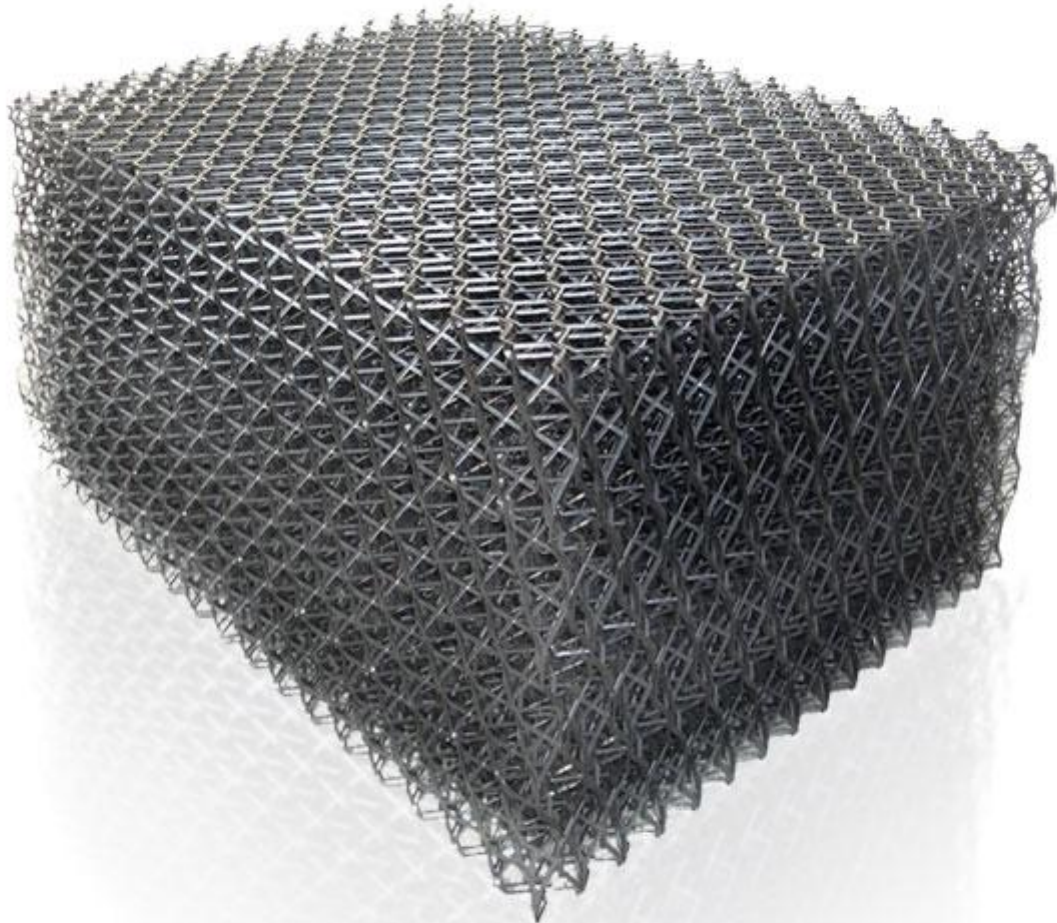
- 1 – вытяжная башня;
- 2 – каплеуловитель;
- 3 – водораспределительная система;
- 4 – оросительное устройство;
- 5 – воздухорегулирующее устройство;
- 6 – водосборный бассейн;
- 7 – несущий опорный каркас





В *капельных* градирнях оросительное устройство имеет сетчатую или решетчатую структуру. Выполняется из полипропилена, пластмассы.

Капельные оросители



В брызгальных градирнях вода распыляется соплами и в струях фонтанов охлаждается движущимся воздухом. Охлажденная вода собирается в бассейне.

Брызгальная градирня





Для энергетики РФ характерно применение пленочных башенных градирен с естественной тягой. Вытяжные башни выполняются из монолитного железобетона. Форма башни – параболический гиперболоид. Высота вытяжной башни крупных градирен достигает 100 м, диаметр выходного сечения 45–60 м. Естественная тяга возникает из-за разности плотностей наружного воздуха и нагретого и увлажненного воздуха внутри градирни.

Под градирней сооружается бассейн сбора воды глубиной до 2 м. В районах с жарким климатом применяют градирни с искусственной вентиляцией. В верхней части таких градирен устанавливают вентилятор. Это позволяет существенно уменьшить габариты вытяжной башни, но при этом увеличиваются затраты электроэнергии на собственные нужды ТЭС на 0,5–0,7%.

**На небольших станциях используют открытые градирни (без башни).
Движение воздуха в них осуществляется за счет ветра.
Достоинство – более низкие капитальные затраты. Недостаток – меньшая глубина охлаждения.
Вокруг градирни открытого типа образуется туман.**

Открытые градирни

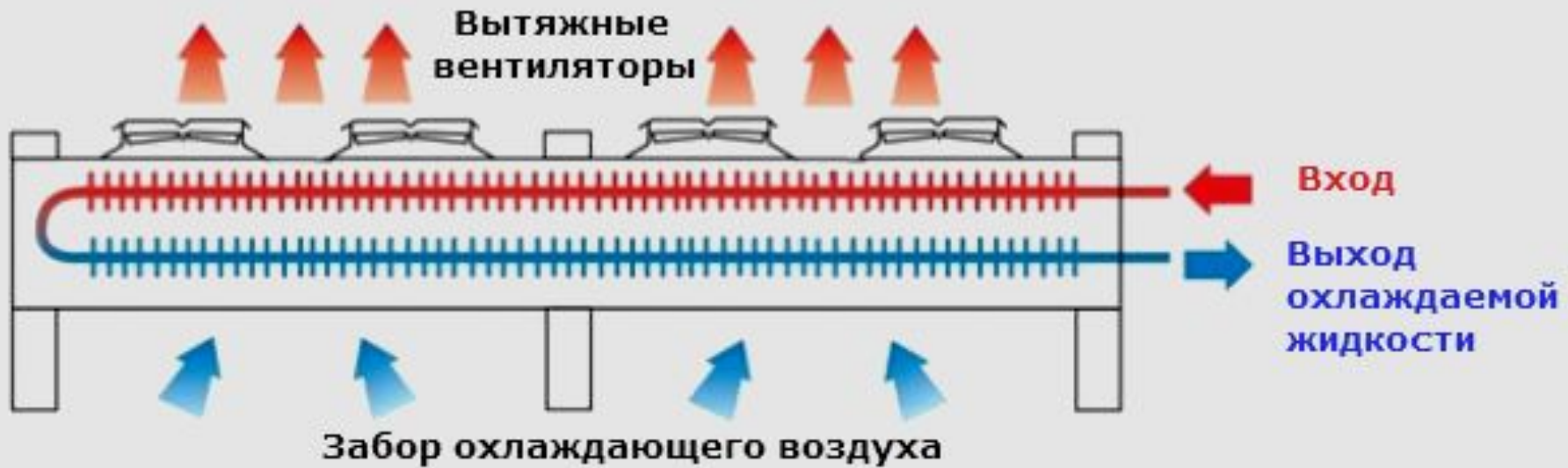




Удельная площадь градирен составляет 0,01–0,02 м²/кВт, что в 300–400 раз меньше по сравнению с площадью пруда-охладителя. Глубина охлаждения в градирнях меньше, чем в прудах-охладителях. Испарение воды в градирне приводит к потерям циркуляционной воды. Для компенсации потерь продувкой и испарением в систему вводится добавочная вода.

Для районов с ограниченными водными ресурсами находят применение радиаторные (сухие) градирни. Вода в таких градирнях прокачивается через ребристые теплообменники, установленные в нижней части башни, и охлаждается потоком воздуха. Движение воздуха может осуществляться как за счет естественной тяги, так и за счет вытяжного вентилятора.

Сухие градирни



Системы обратного водоснабжения

с брызгальными бассейнами

Используются для станций небольшой мощности. Это обычный бассейн прямоугольной формы глубиной 2,0–2,5 м. Над поверхность воды находятся трубы с разбрызгивающими соплами. Вода из конденсаторов, поступающая по трубопроводам, охлаждается за счет испарения при контакте с воздухом. Охлажденная вода из бассейна направляется в конденсаторы.

Вокруг бассейна образуется туман.

Брызгальный бассейн



Брызгальный бассейн



ЛЕКЦИЯ 9



ОЧИСТКА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

При сжигании ~~1000 т~~ **НА ТЭС** угля выбрасывается в атмосферу порядка 25 т SO₂, 10 т NO_x, 230 т CO₂, 2 т золы (остальная зола удаляется со шлаком и улавливается в золоуловителях).

Оценим годовой выброс золы с небольшого котла КЕ-25-14С, работающего на угле с теплотой сгорания 18 МДж/кг

и зольностью $A^p = 50\%$

$$B = \frac{D(n_{II} - n_{IV})}{Q_H^p \eta_K} = \frac{25 \cdot (2789 - 4,19 \cdot 105)}{18 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 3,63$$

$$G_3 = 0,5 \cdot 3,63 = 1,81$$

$$G_3^{\text{ун}} = G_3 \cdot 0,2 = 1,81 \cdot 0,2 = 0,362$$

- Основные мероприятия по очистке дымовых газов от вредных веществ:**
- 1) глубокая очистка дымовых газов от золы, оксидов серы и оксидов азота;**
 - 2) предварительная переработка топлива с целью извлечения соединений серы;**
 - 3) рациональное ведение топочного процесса для уменьшения образования оксидов азота;**

4) сооружение высоких дымовых труб, позволяющих рассеивать уходящие газы и снижать приземные концентрации вредных веществ;

5) устройство санитарно-защитных зон между ТЭС и жилыми объектами.

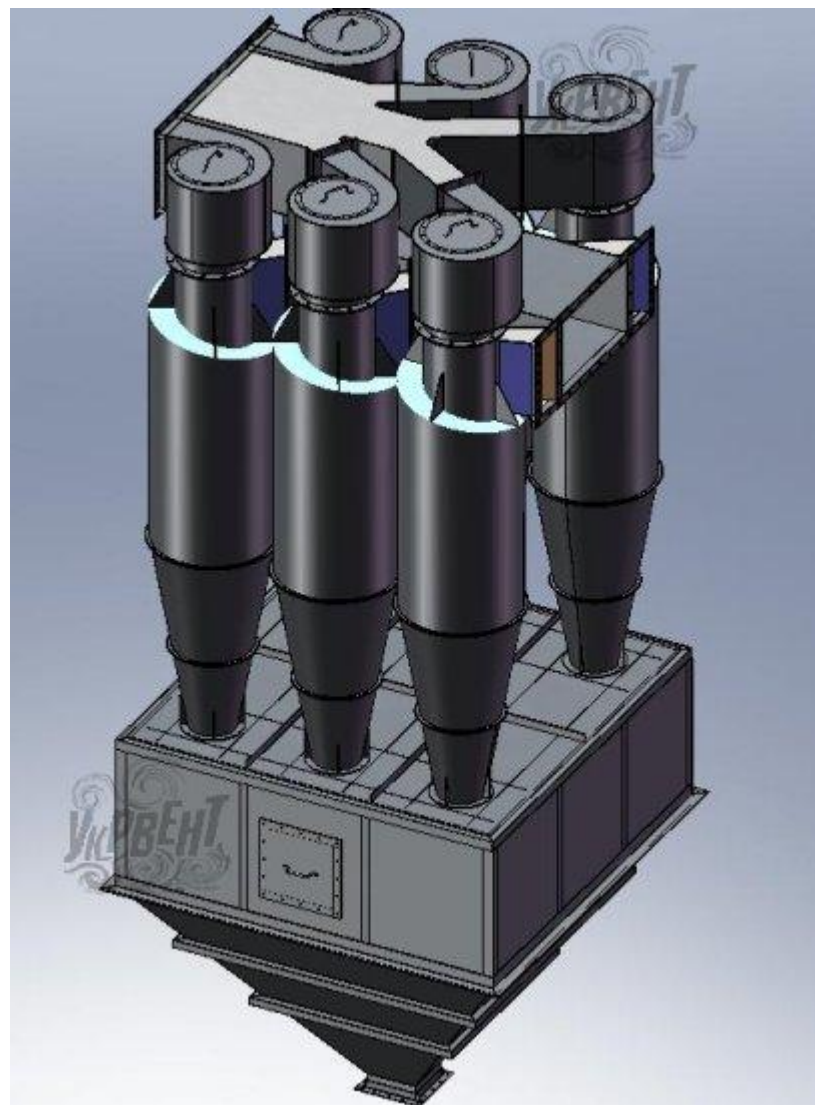
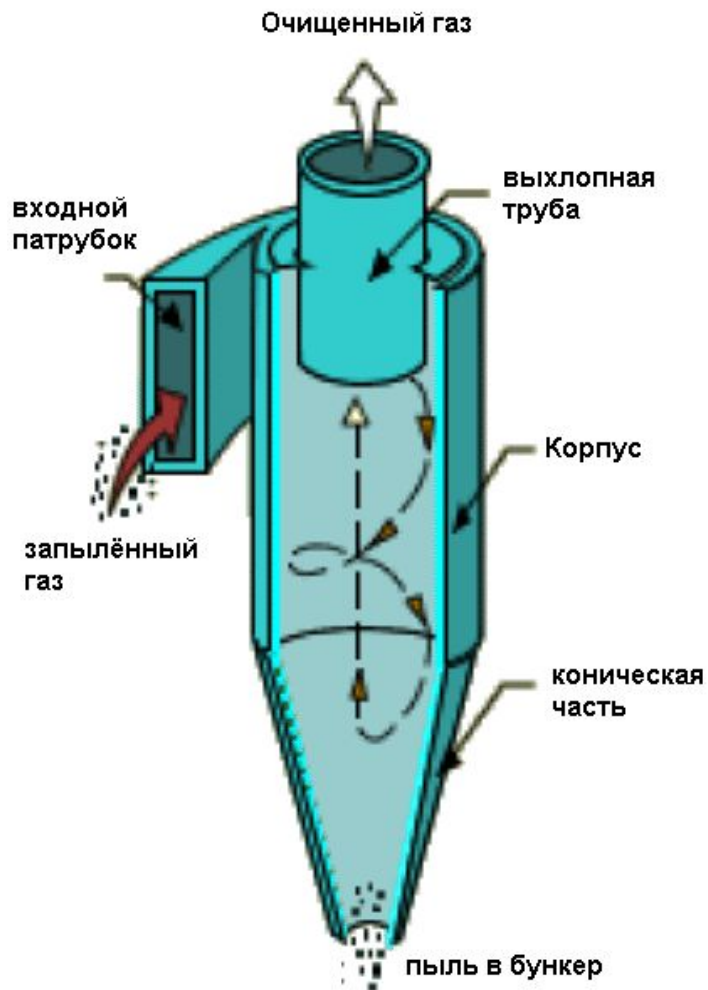
СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ЗОЛОВЫХ

ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРУ

Наибольшую зольность имеют горючие сланцы и бурые угли, а также некоторые сорта каменных углей (например, экибастузские). Жидкое топливо имеет небольшую зольность. Природный газ является беззольным топливом.

Современные золоуловители благодаря высокой степени улавливания золы позволяют значительно снизить выбросы золы и довести их до весьма малых значений.

1. Циклонные (инерционные) золоуловители



отделение твердых частиц от потока происходит под действием инерционных сил и силы тяжести.

С уменьшением диаметра циклона скорость потока возрастает, и степень очистки газов от летучей золы повышается. В связи с этим в энергетике нашли применение небольшие по диаметру циклоны, объединяемые в параллельные группы для обеспечения требуемого расхода газов через них. Они получили название *батареиных*, или *мультициклонов*.

Вагарейные циклоны обеспечивают улавливание до 94 % летучей золы, их используют на котлах производительностью до 170 т/ч.

Недостаток работы сухих циклонов – вероятность вторичного захвата осевшей на стенках золы.

Для предотвращения вторичного уноса золы со стенок стали использовать смачивание поверхности корпуса стекающей пленкой воды. В этом случае практически все золовые частицы, достигшие стенок, удаляются вместе с водой в золовой бункер

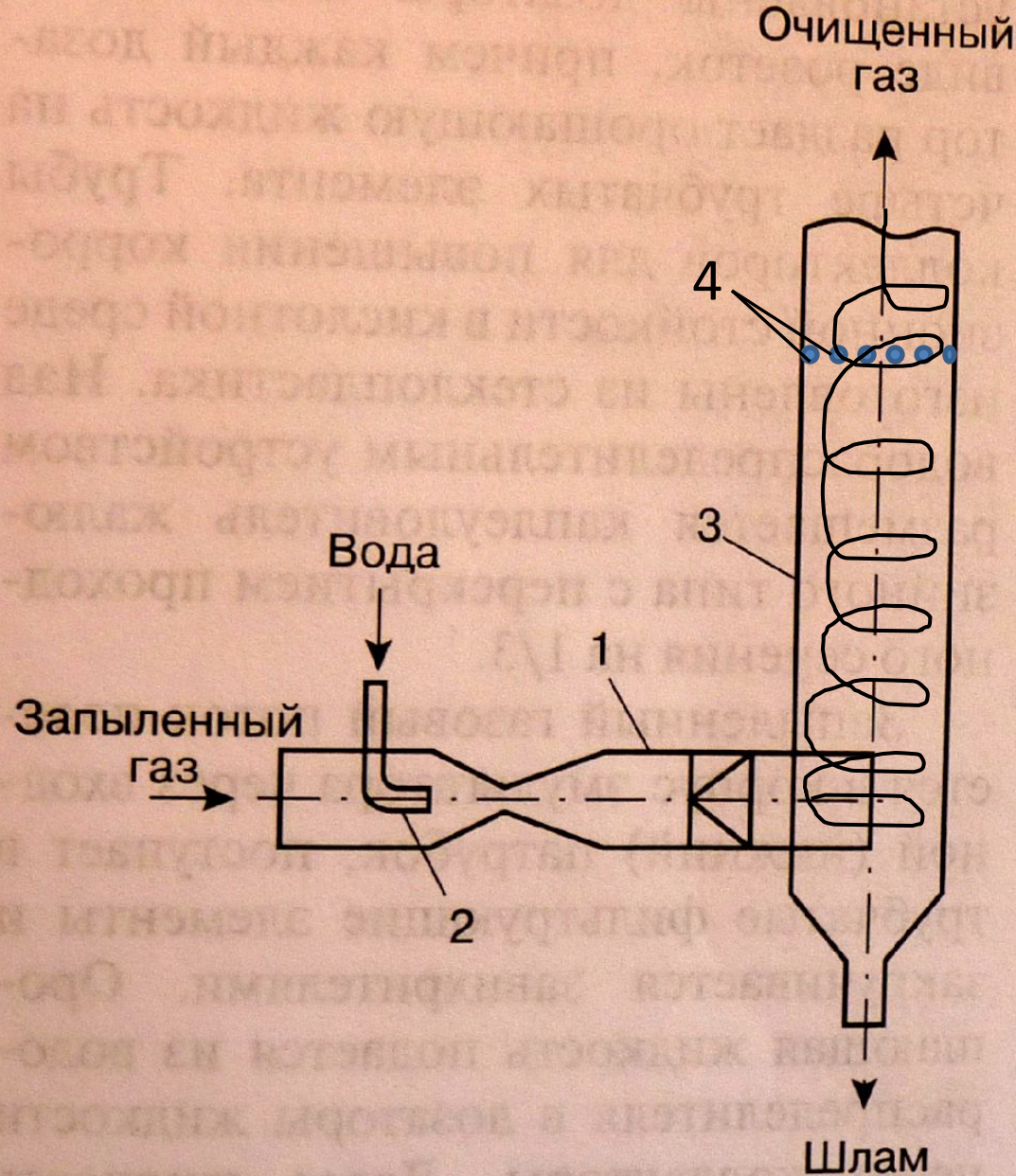
2. Мокрые инерционные

золоуловители (скрубберы)
Такие золоуловители были

разработаны Всесоюзным
теплотехническим институтом (ВТИ) и
получили название *центробежного
скруббера* (ЦС). Они имели большой
диаметр корпуса (до 5 м), и на один котел
устанавливалось 2–6 таких скрубберов.

В отличие от батарейных циклонов
для эффективной работы ЦС требуется
существенный расход воды: 0,2–0,9 кг/с
на орошение и еще 0,85 кг/с на промывку
бункера.

Схема конструкции мокрого скруббера



- 1 – труба-распылитель;
- 2 – форсунка для орошения потока газов;
- 3 – циклон-каплеуловитель;
- 4 – форсунки для смачивания стенок.

Движущийся с большой скоростью газ при встрече с каплями воды дробит их до размера 200–300 мкм, вследствие чего резко возрастает общая смачивающая поверхность. Частицы золы соединяются с каплями воды (коагуляция), и эти достаточно крупные частицы эффективно осаждаются затем на пленке ЦС. Эффективность мокрых золоуловителей достигает 96 %.

В ЦС помимо улавливания золы протекают химические процессы поглощения из дымовых газов оксидов углерода и серы. Образующаяся сернистая кислота, взаимодействуя с солями жесткости воды и со щелочами золы, приводит к образованию сульфита кальция CaSO_3 , вследствие чего возможно забивание элементов золоуловителя отложениями.

Во избежание коррозии внутренняя поверхность корпуса футеруется кислотоупорной керамической плиткой.

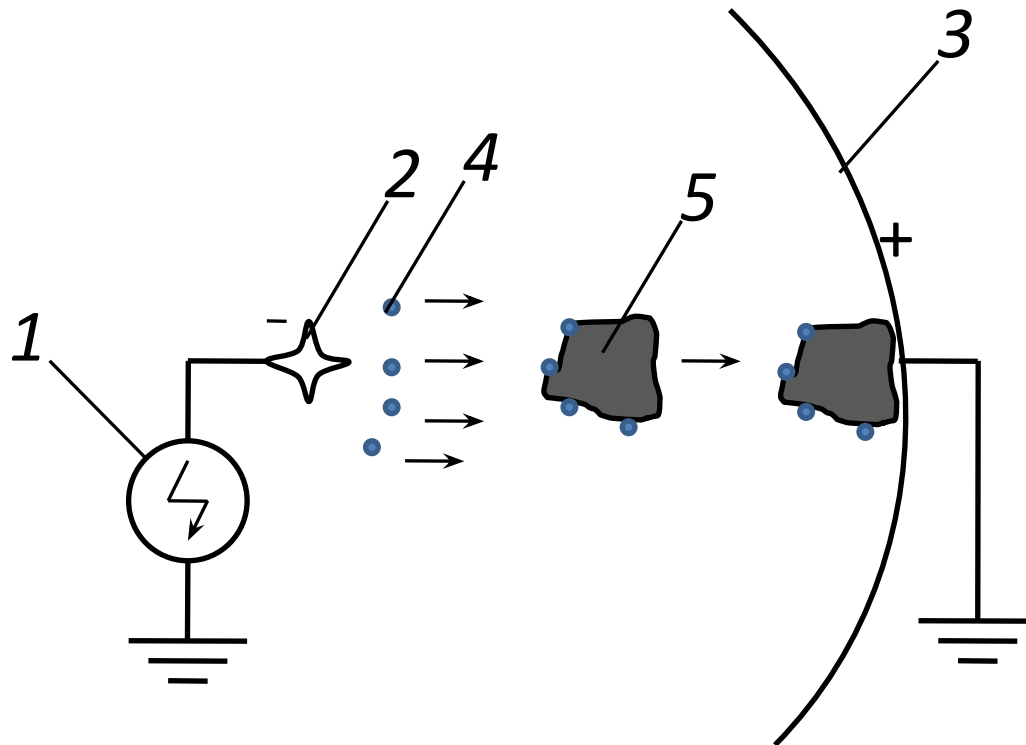
3. Электрофилтры (ЭФ)

ЭФ в настоящее время относятся к числу наиболее эффективных типов золоуловителей. Преимуществом электрофилтров является способность улавливать тонкую золу с частицами 10 мкм и менее. С помощью ЭФ очистка газов может быть обеспечена на 99–99,8 %. Отделение частиц происходит за счет осаждения заряженных в электрическом поле частиц золы на осадительных электродах.

Внешний вид электрофильтров



Принцип работы электрофильтра

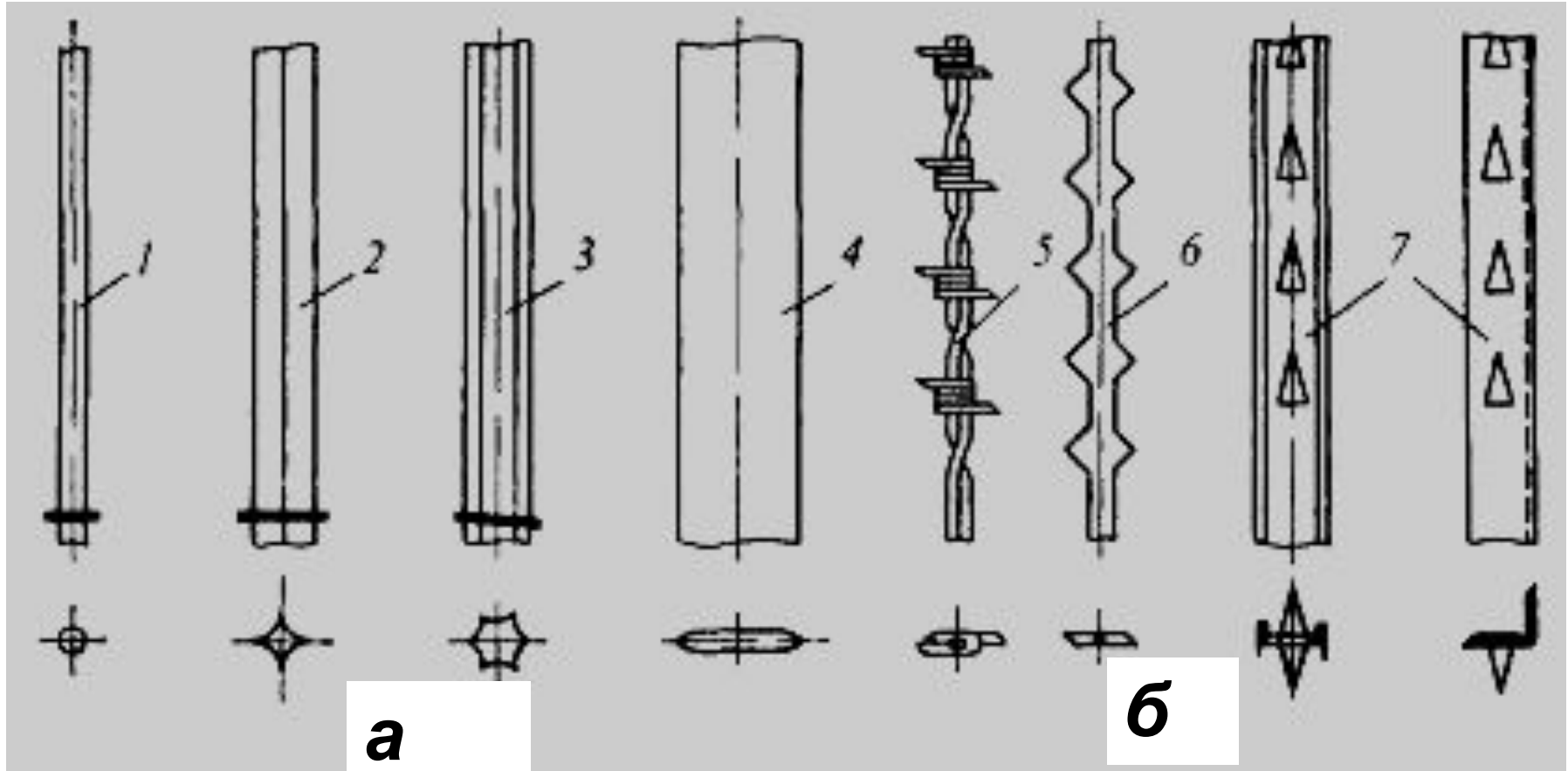


1 – источник тока высокого напряжения;
2 – коронирующий электрод; 3 – осадительный электрод; 4 – электроны; 5 – частица золы

Вокруг электрода, имеющего профиль с острыми углами, при напряженности электрического поля около 1,5 МВ/м возникает коронный разряд, в результате которого из молекул дымовых газов выталкиваются отрицательно заряженные электроны. Электроны под действием сил электрического поля приходят в движение в направлении от коронирующих к осадительным электродам. Встречая на своем пути частицы золы, электроны абсорбируются на них и передают им свой отрицательный

Для получения наивысшей напряженности электрического поля коронирующие электроды должны иметь заостренную форму. В настоящее время применяют коронирующие электроды с фиксированными точками разряда – ленточно-игольчатые в виде узких полос с выштампованными иголками. На концах иголок достигается наивысшая напряженность электрического поля.

Коронирующие электроды

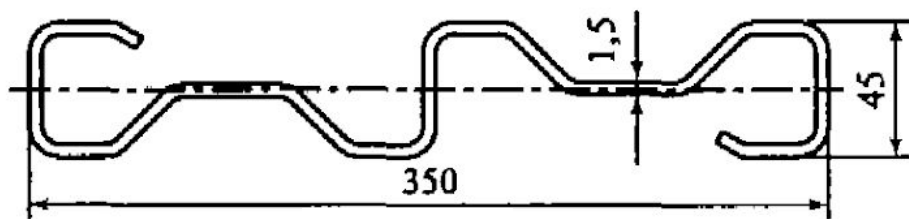


а

б

а – гладкие; б – фиксированными точками разряда;

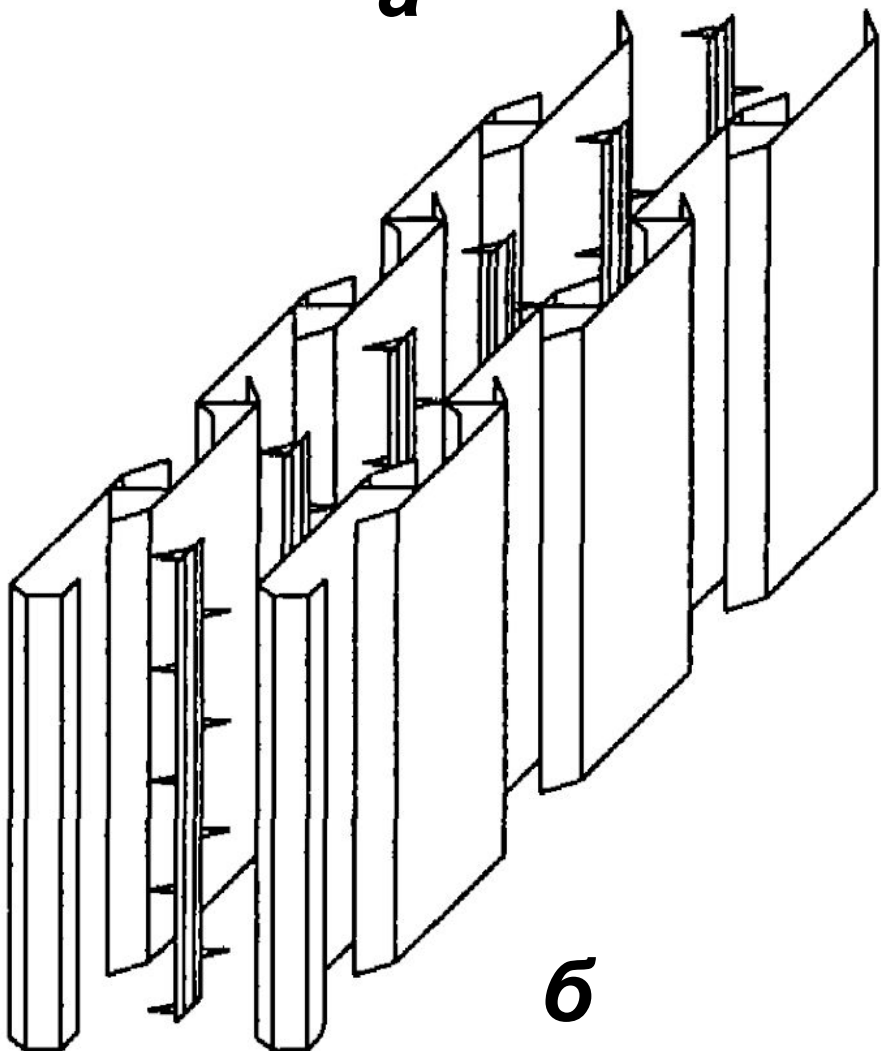
1 – круглого сечения; 2 – штыкового сечения; 3 – звездообразный; 4 – ленточный; 5 – колючая проволока; 6 – зигзагообразный; 7 – треугольный



a

a – широкополосный
С-образный элемент
осадительного электрода;

б – схема взаимного
расположения
осадительных
и коронирующих
электродов



б

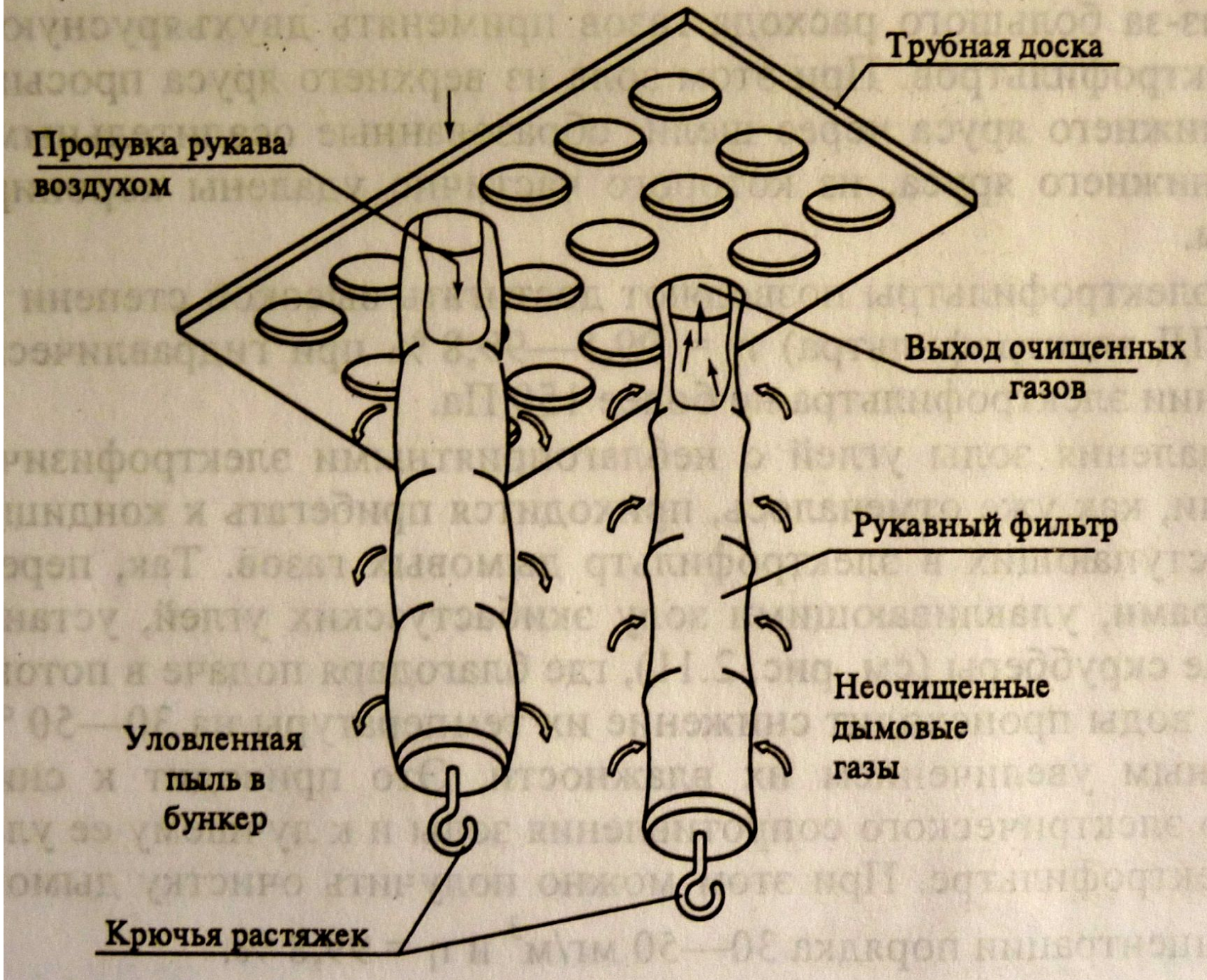
Высота электродов: 6; 7,5; 9; 12 и 15 м. Коронирующие электроды устанавливаются между осадительными с шагом 325 мм. Осадительные электроды заземляются. Зола с осадительных электродов удаляется при ударах встряхивающего механизма. Для встряхивания электродов наибольшее распространение получили ударно-молотковые механизмы.

На степень улавливания большое влияние оказывает скорость газов, причем в отличие от циклонных золоуловителей степень улавливания золы в ЭФ растет с уменьшением скорости.

Поэтому приходится принимать малые скорости газового потока 1–1,8 м/с, т. е. приходится увеличивать поперечное сечение фильтров.

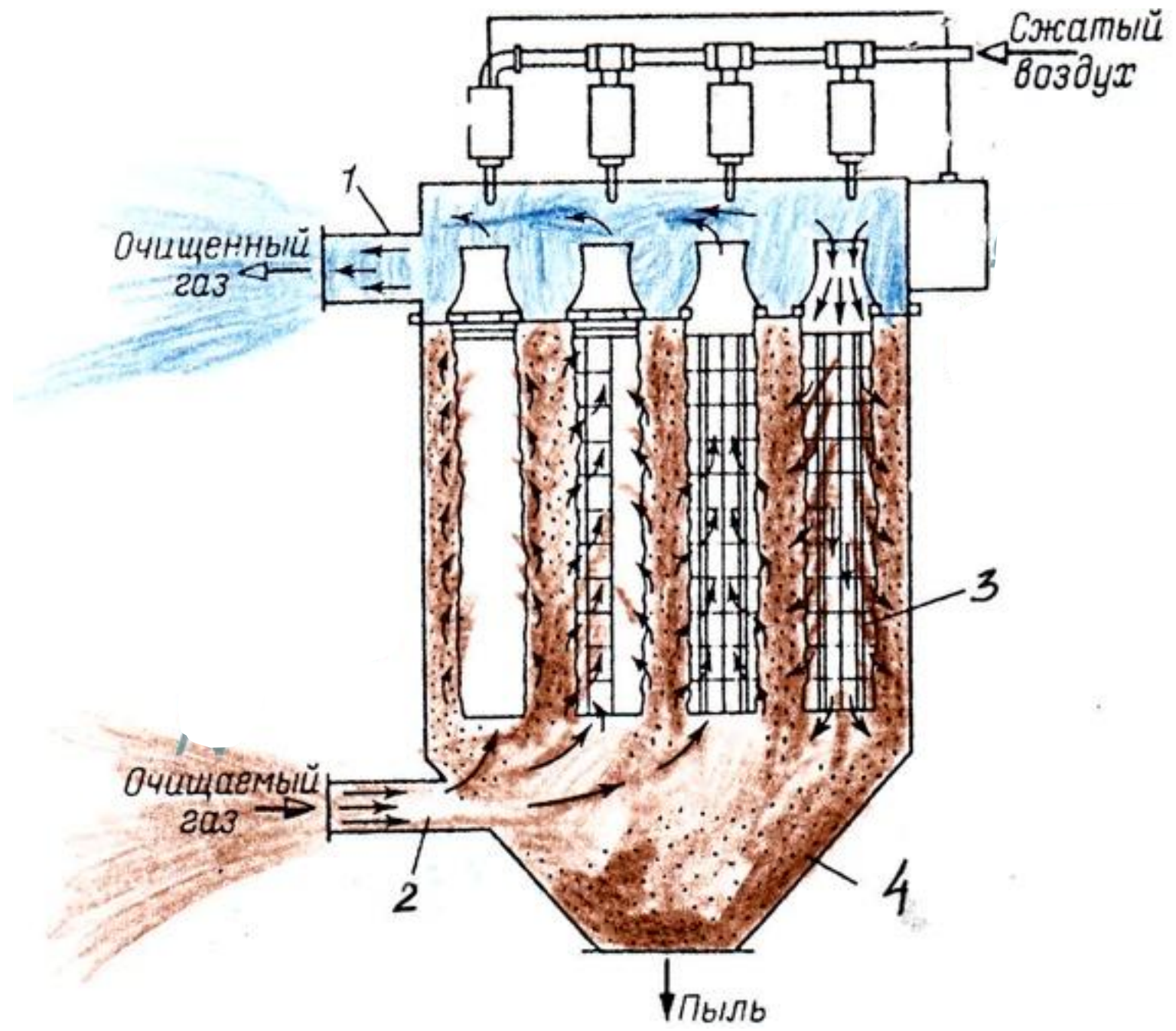
Ф **Тканевые фильтры (рукавные)**
Фильтры изготавливаются через
гибкую ткань, изготовляемую из тонких
нитей диаметром 100–300 мкм. Фильтры
благодаря цилиндрической форме
получили название рукавных.
Эффективность улавливания пыли до
99,9 %.

Их использование связано с рядом
условий. Скорость газового потока
через ткань должны быть очень низкой
– порядка 0,01–0,02 м/с. Даже при таких
скоростях аэродинамическое
сопротивление оказывается высоким
(около 0,5–1,5 кПа)



Производство рукавных





Для удаление осевшей на ткани золы применяется продувка воздухом в обратном направлении. На это время очищаемая секция отъединяется от газового потока шиберами.

В качестве материала фильтров для работы при температуре газов до 130 °С нашли применение шерсть или шерстяной войлок, при температуре до 260 °С используется стекловолокно, стекловолокно с графитом. Длительность работы ткани составляет 1–3 года.

Рукава обычно имеют следующие размеры: диаметр 300 мм, длину 10 м. Площадь фильтрации одного рукава составляет 10 м².

Тканевые фильтры и электрофильтры требуют приблизительно одинаковых капитальных и эксплуатационных затрат, но в отличие от электрофильтров тканевые фильтры проще в эксплуатации и еще более эффективны.

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ СОЕДИНЕНИЙ СЕРЫ В АТМОСФЕРУ

1. Очистка топлива от соединений

серы

до его сжигания.

В твердом топливе сера может находиться в виде органической, колчеданной и сульфатной серы. Основную часть колчеданной и сульфатной серы можно достаточно легко удалить путем обогащения, поскольку она находится в угле в виде отдельных включений.

Сложнее дело обстоит с

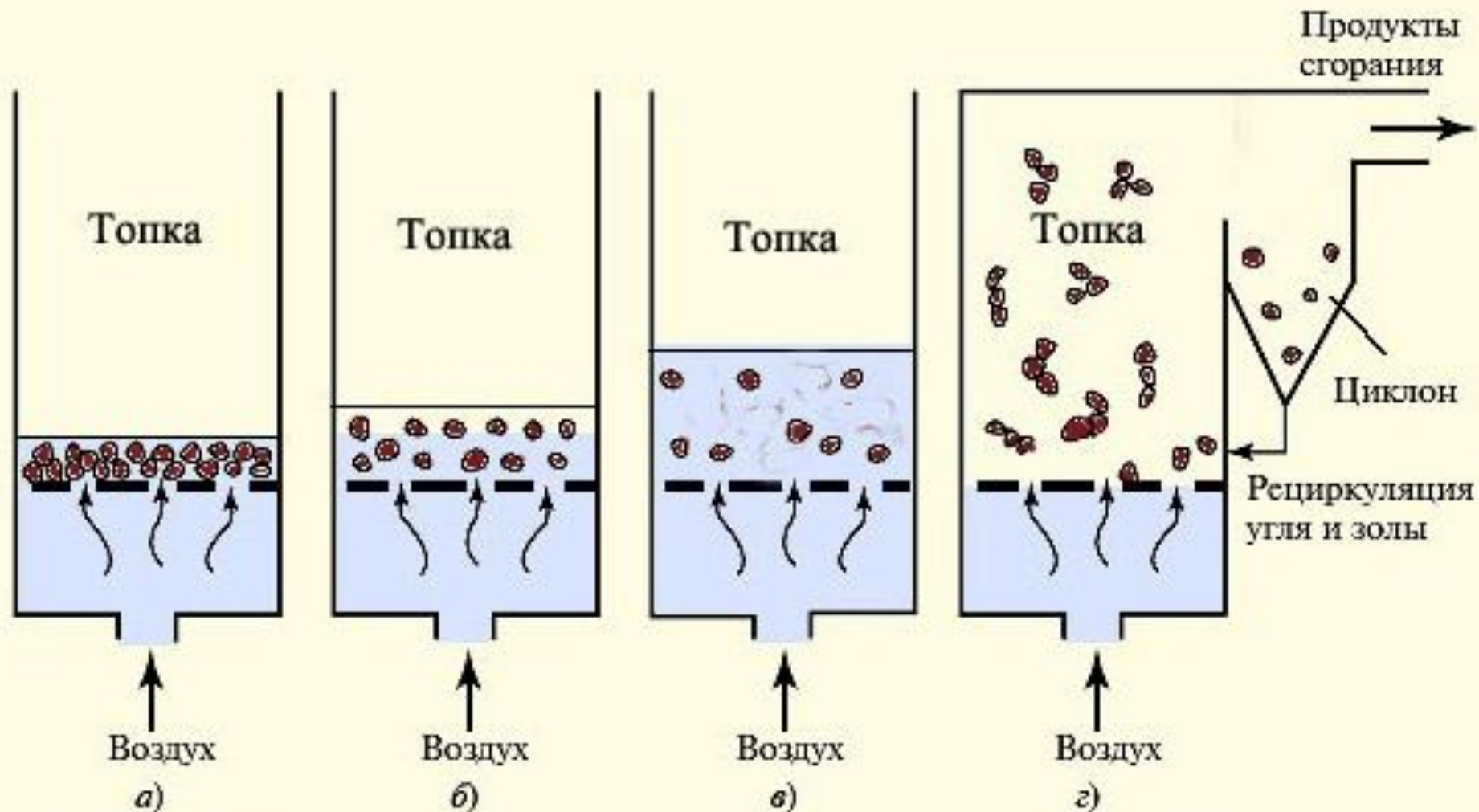
Самым радикальным методом удаления серы является газификация топлива. Перевод твердого или жидкого топлива в газообразное состояние производится путем его неполного окисления при высокой температуре с одновременным удалением вредных примесей, являющихся побочными продуктами. Сера выводится из топлива

в этом случае большей частью в виде соединения H_2S . После такого выведения серы горючий газ может быть далее использован для сжигания.

2. Связывание соединений серы в процессе горения.

Наиболее распространенным способом связывания серы в процессе горения является способ сжигания углей в *кипящем слое*.

***Кипящий (псевдоожигенный) слой* – это слой мелкозернистого материала, продуваемый снизу вверх газом со скоростью, превышающей предел устойчивости плотного слоя, но недостаточной для полного выноса частиц из слоя.**



Средний размер частиц в топках с кипящим слоем составляет 2–3 мм. Этому соответствует скорость воздуха в живом сечении решетки 1,5–4,0 м/с.

Интенсивное перемешивание частиц обеспечивает постоянство температуры по всему объему кипящего слоя 850–950 °С. Топки с кипящим слоем – низкотемпературные. Низкая температура процесса горения позволяет снизить образование оксидов азота.

Поддержание такой температуры осуществляется двумя способами:

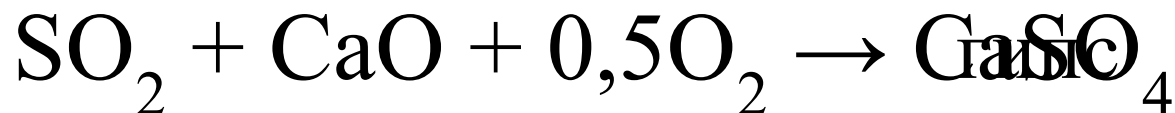
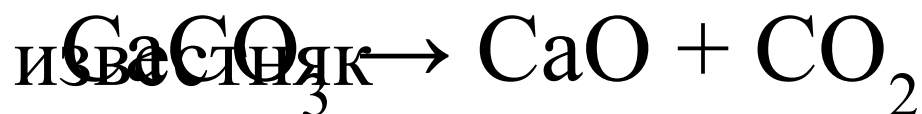
1) в небольших топках в слой подают воздух с коэффициентом избытка больше 2,0;

2) в крупных энергетических котлах размещают поверхности нагрева прямо в слое частиц топлива. Внутри труб циркулирует вода или пар.

Топливо устойчиво горит при его содержании в кипящем слое 1% и менее, остальные 99% – зола или инертный материал. Причем в кипящем слое концентрация горючих оказывается одинаковой по всему объему.

Для удаления золы часть материала слоя непрерывно выводится из него в виде мелкозернистого шлака.

В топки с кипящим слоем дозируют известняк для связывания оксидов серы в безвредный гипс.



В результате связывается более 80 % серы, содержащейся в топливе.

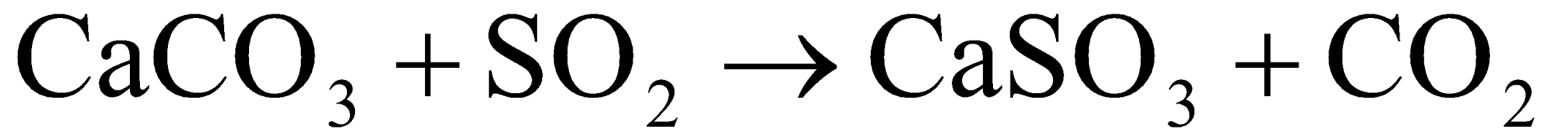
от соединения серы.

Наиболее распространенные в мировой практике технологии сероочистки:

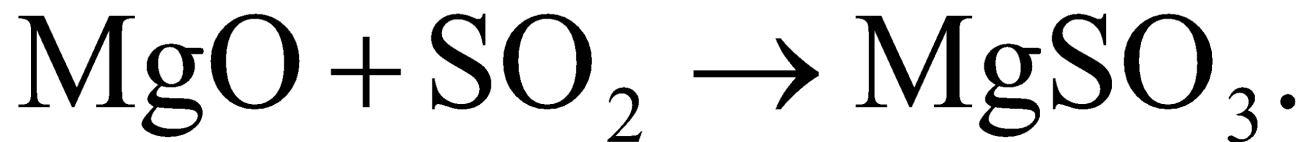
- 1) известковый способ;
- 2) магнезитовый.

Известковый способ основан на эффективном поглощении SO_2 известью.

В основе этого процесса лежит химическая реакция, протекающая при контакте дымовых газов с известняком с образованием твердого сульфита



При очистке по магнезитовому способу дымовые газы поступают в абсорбер, где орошаются суспензией, содержащей оксид магния. При этом происходит химическая реакция:



СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В АТМОСФЕРУ

1. Механизмы образования оксидов азота.

Среди различных оксидов азота N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 наиболее токсичным является NO_2 . Сумму оксидов азота принято обозначать NO_x .

Концентрация выбросов NO_x в продуктах сгорания топлива составляет 125–1300 мг/м³.

Среднесуточная ПДК NO_2 составляет 0,04 мг/м³.

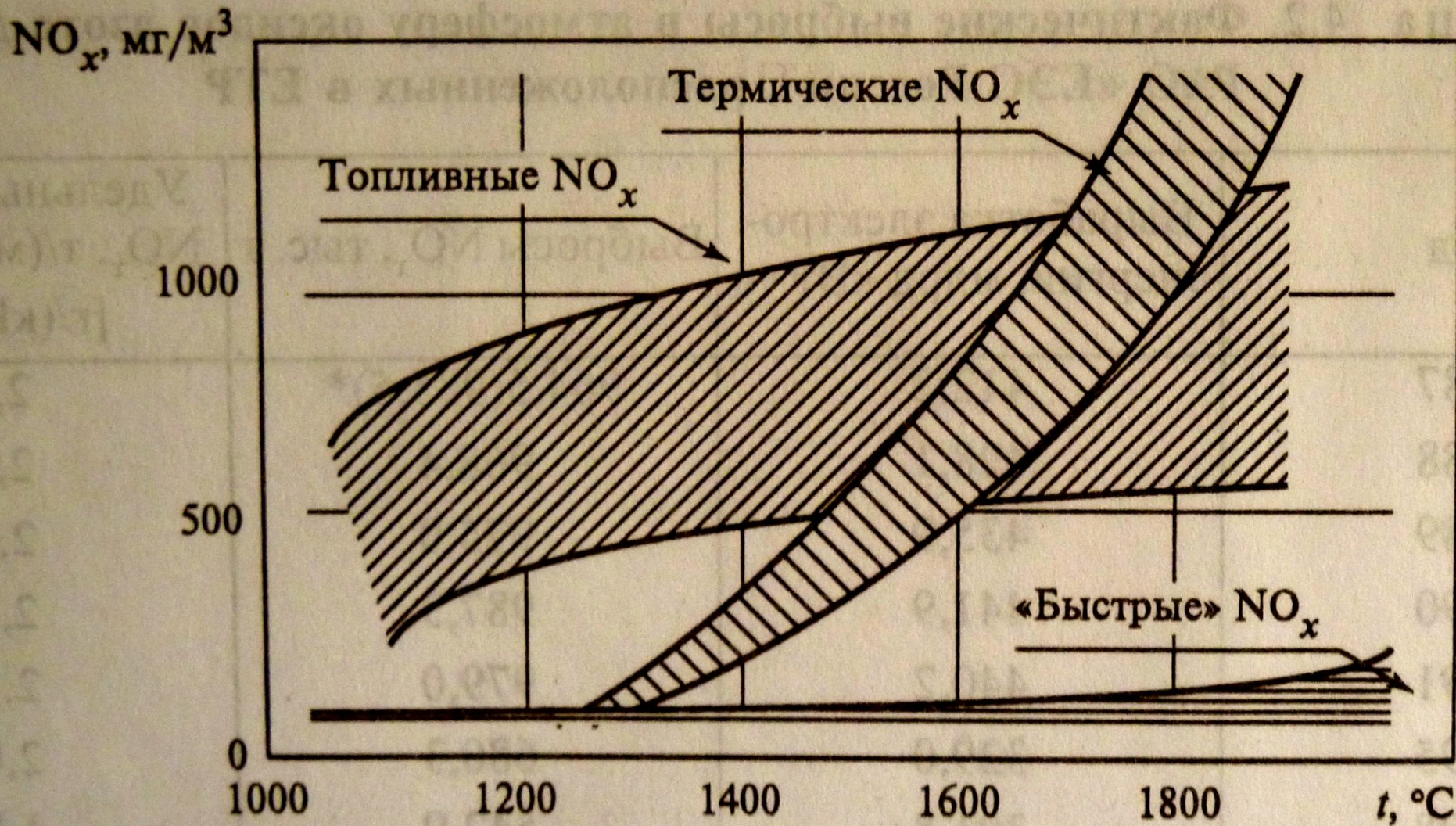
В настоящее время хорошо изучены три принципиально разных источника NO_x :

1) образование *термических* NO_x из молекулярного азота воздуха при температуре выше $1300\text{ }^\circ\text{C}$ (механизм Зельдовича);

2) образование NO_x из азота, содержащегося в топливе (*топливные* NO_x);

3) образование NO_x путем реакции молекулярного азота воздуха с углеводородными радикалами («быстрые» NO_x).

Зависимость образования оксидов азота от температуры



**Термические оксиды азота
возникают из молекулярного азота
воздуха, подаваемого в топку котла,
при высоких температурах и
достаточном времени пребывания
продуктов сгорания в зоне горения.**

**Топливные оксиды азота
образуются
из азота, содержащегося в топливе,
при относительно низких температурах
($t > 1000$ °C).**

«Быстрые» NO_x образуются в результате аномально быстрых реакций молекулярного азота воздуха с углеводородами, содержащимися в топливе. Эти реакции начинают протекать при температуре около 1000°C , когда образование термических NO_x еще не происходит. Концентрация «быстрых» NO_x растет при увеличении избытка воздуха и температуры.

**2. Первичные мероприятия,
направленные на уменьшение
выбросов NO_x :**

1) снижение температуры горения;

**2) уменьшение времени пребывания
продуктов сгорания в области высоких
температур;**

**3) создание зон реакций
с восстановительной атмосферой
(избыток воздуха меньше единицы), где
образование NO_x из азота топлива
затруднено,
и восстановление оксидов азота идет
до молекулярного азота.**

Для снижения выбросов оксидов азота на ТЭС проводят следующие первичные мероприятия:

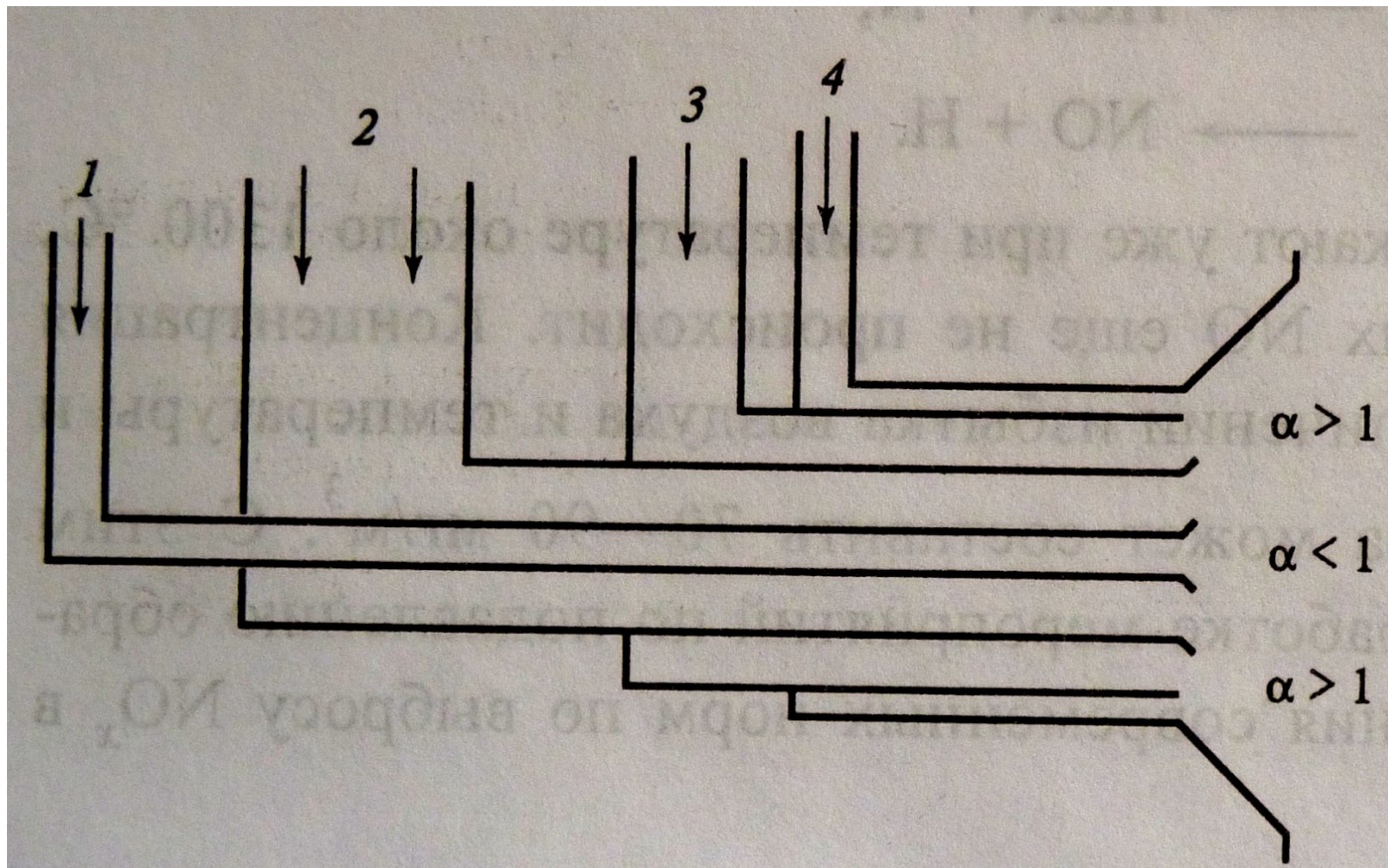
1) использование горелок с низким выбросом NO_x (снижение NO_x на 60 %);

2) ступенчатое сжигание топлива (снижение NO_x на 35–45 %);

3) рециркуляция дымовых газов (снижение NO_x на 33 %);

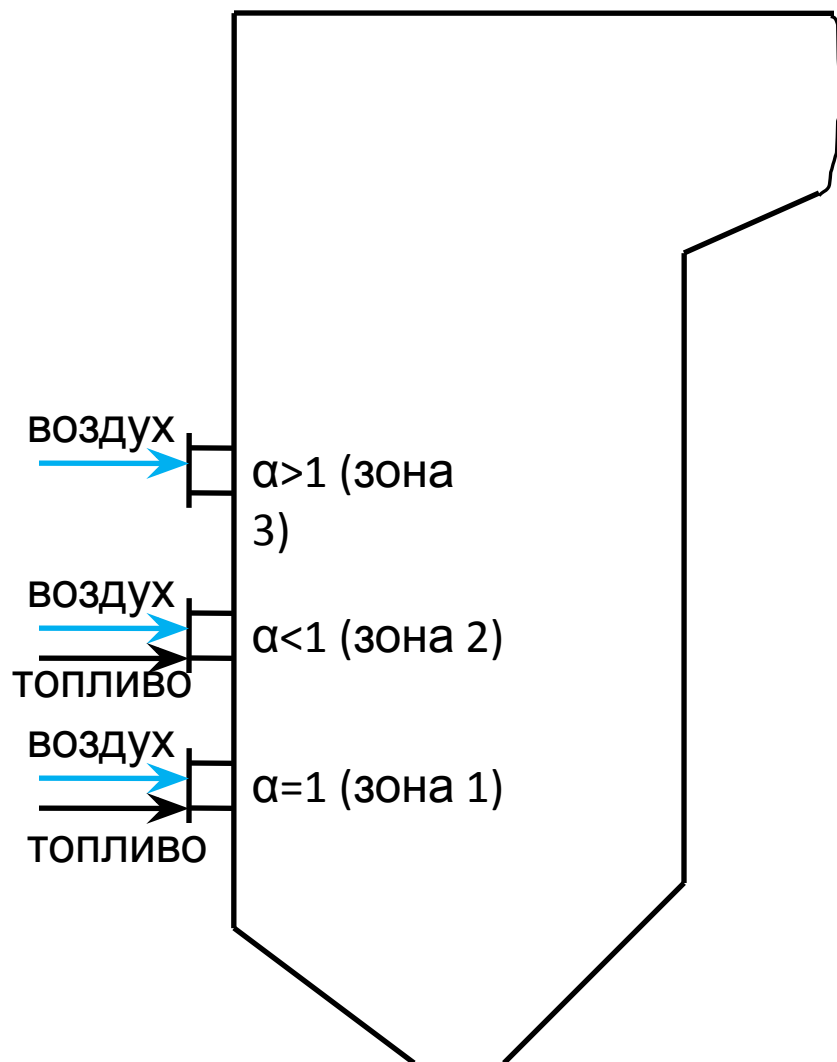
4) впрыск воды (или водомазутной эмульсии) в ядро факела (снижение NO_x на 25–44 %).

У горелок с низким выбросом NO_x организована ступенчатая подача воздуха. Принцип работы такой горелки заключается в следующем. В ядро факела подается количество воздуха, недостаточное для обеспечения полноты горения (кислородный «голод»), в то время как во внешнюю зону горения подается избыточное количество воздуха, чтобы обеспечить полноту сгорания топлива.



1 – первичный воздух; 2 – топливно-воздушная смесь; 3 – вторичный воздух; 4 – третичный воздух

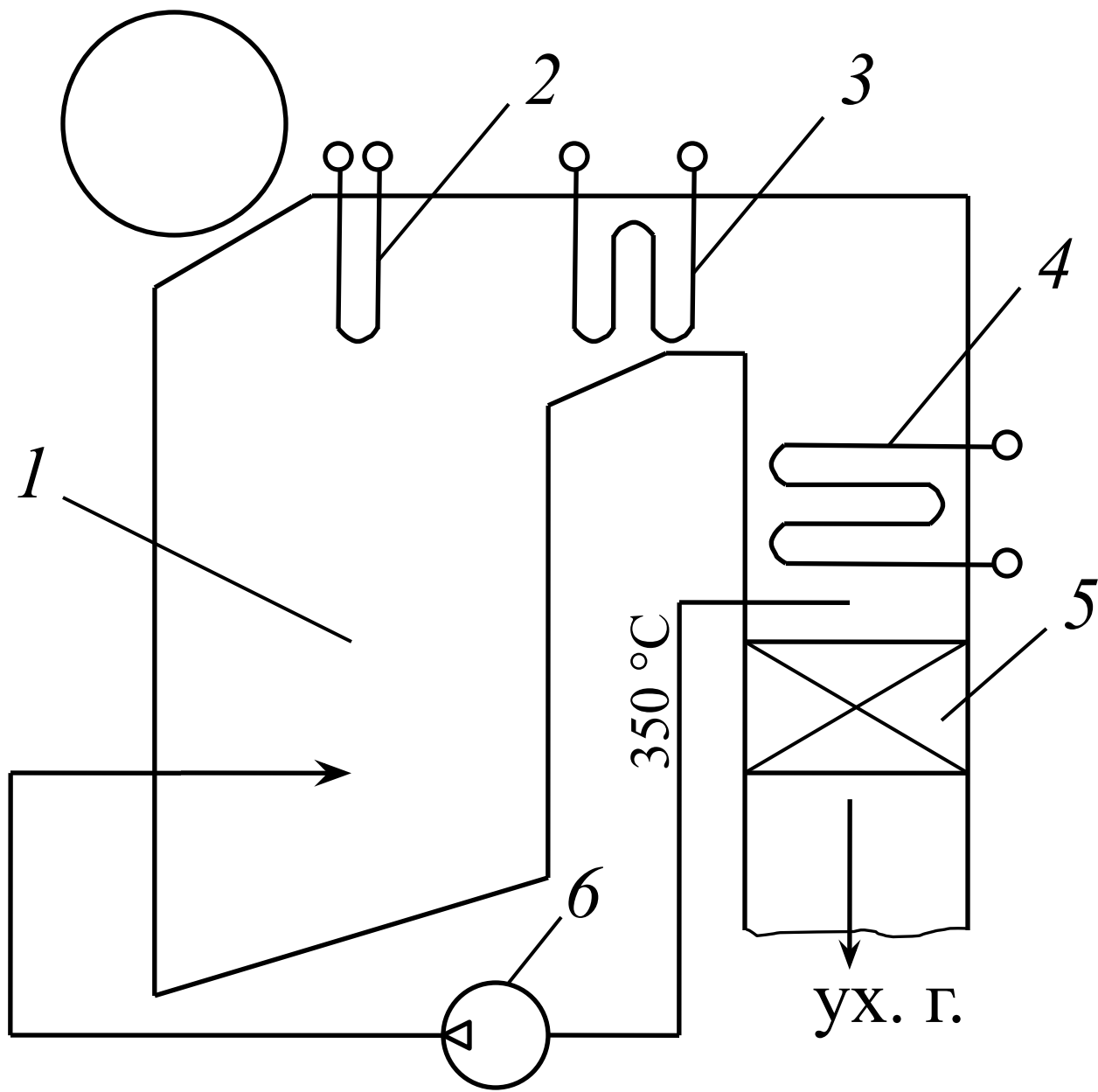
При ступенчатом сжигании топлива горелки в топке котла размещают в несколько ярусов (обычно 3–4 яруса). Подача воздуха (избыток воздуха) изменяется также поярусно.



Зона 1 – горение в ядре факела (70–85 % топлива); зона 2 – горение топлива и восстановление NO_x (15–30 % топлива); зона 3 – дожигание продуктов неполного сгорания топлива.

Рециркуляция дымовых газов из конвективной шахты в топку котла осуществляется с помощью дополнительного дымососа рециркуляции газов. В результате снижается концентрация кислорода и температура горения.

Технико-экономические показатели ТЭС при этом ухудшаются. Возрастает расход электроэнергии на собственные нужды. Растет температура уходящих, что приводит к снижению КПД котла на 0,6–1,3 %.



Впрыск воды или ввод водомазутной эмульсии в ядро факела снижает максимальную температуру в нем и тем самым препятствует образованию термических оксидов азота. Количество впрыскиваемой в топку котла воды составляет около 10 % расхода топлива. Этот способ снижает КПД котла приблизительно на 0,7 %. Широкого применения не получил.

3. Вторичные мероприятия

по уменьшению выбросов NO_x :

Для очистки дымовых газов от NO_x используют аммиак NH_3 в качестве восстановителя NO_x до молекулярного азота. Впрыск аммиака осуществляется через сопло в газоход. Степень очистки дымовых газов может быть доведена до 90 %. Такой системой очистки были оборудованы газомазутные котлы на ТЭЦ-27 в Москве и котлы Тольяттинской ТЭЦ.

