

# ЛЕКЦИЯ 8

# **ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ ТЭС**

**Дымовая труба является ответственным инженерным сооружением, работающим в тяжелых условиях ветровых нагрузок, температуры и агрессивного воздействия дымовых газов. Газоотводящий ствол должен противостоять воздействию температур и возникающих при этом напряжений, а также коррозии от воздействия агрессивных веществ, содержащихся в дымовых газах.**



# Разрушение оголовка кирпичной дымовой трубы

**В трубе можно выделить несущую и газоотводящую части, совпадающие в некоторых решениях. Несущая часть конструктивно оформляется в виде металлической решетчатой башни или железобетонной оболочки цилиндрической или конической формы. Элементы башни выполняют обычно из прокатных профилей, чаще всего из уголков или труб.**

**Газоотводящая часть конструктивно оформляется следующим образом:**

**1) металлический цилиндрический ствол, который собирается в процессе возведения трубы из отдельных 10–15-метровых царг (секций).**

**Ствол (или несколько, обычно одинаковых стволов) по высоте крепится к железобетонной оболочке или металлической башне. Нагрузка от ствола передается на оболочку (башню)**

**Ствол выполняется из стали с антикоррозионным покрытием. Толщина стенки ствола – (10–20) мм. Снаружи ствол теплоизолируется обычно минераловатными матами. Теплоизоляция закрывается сверху листами из оцинкованной стали.**

**2) футеровочный слой. Чаще всего это кладка из кислотоупорного кирпича на кислотоупорном растворе. Футеровка опирается через каждые 10–12 м по высоте на кольцевые консольные выступы железобетонной оболочки.**

**Прочностные характеристики кирпича не позволяют при большой высоте трубы использовать его в самонесущей конструкции.**

**Железобетонные трубы с футеровкой из кирпича являются одноствольными.**

**В единое пространство внутри футеровки подаются дымовые газы от всех подключенных к трубе котлов. При полной нагрузке в верхней части трубы избыточное давление газов может достигать 200 Па и более.**

**В результате газы диффундируют через обмуровку, внутри охлаждаются. При этом выпадает агрессивный конденсат, что приводит к разрушению как футеровки, так и бетона оболочки.**

**Достаточно эффективной защитой материалов железобетонных труб с футеровкой является организация между оболочкой и футеровкой кольцевого (по всей высоте трубы) зазора. В зазор вентиляционной установкой подается подогретый воздух с давлением, большим чем**



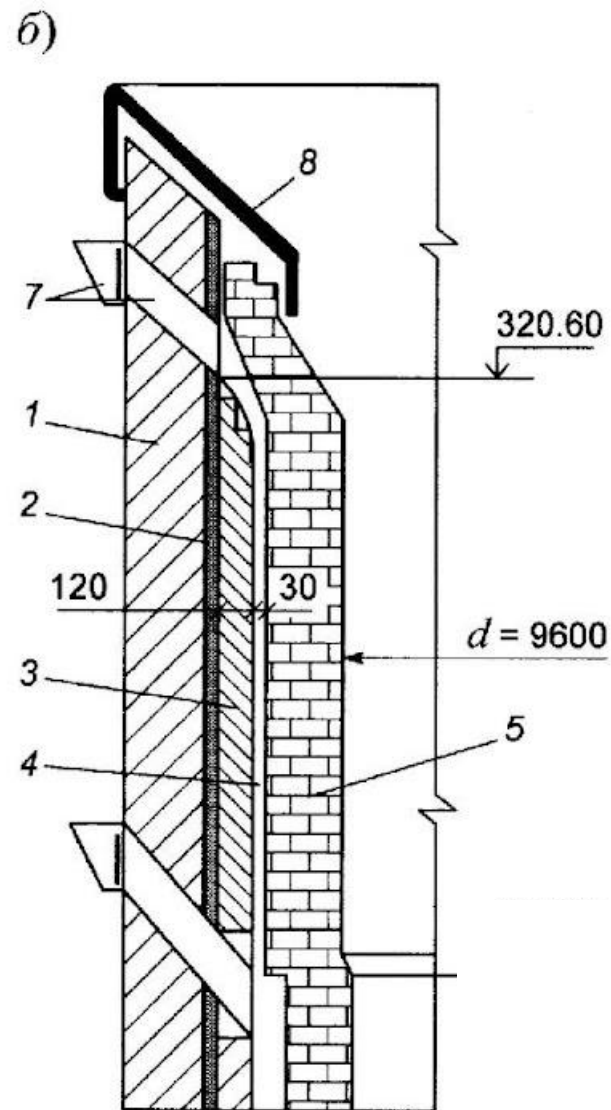
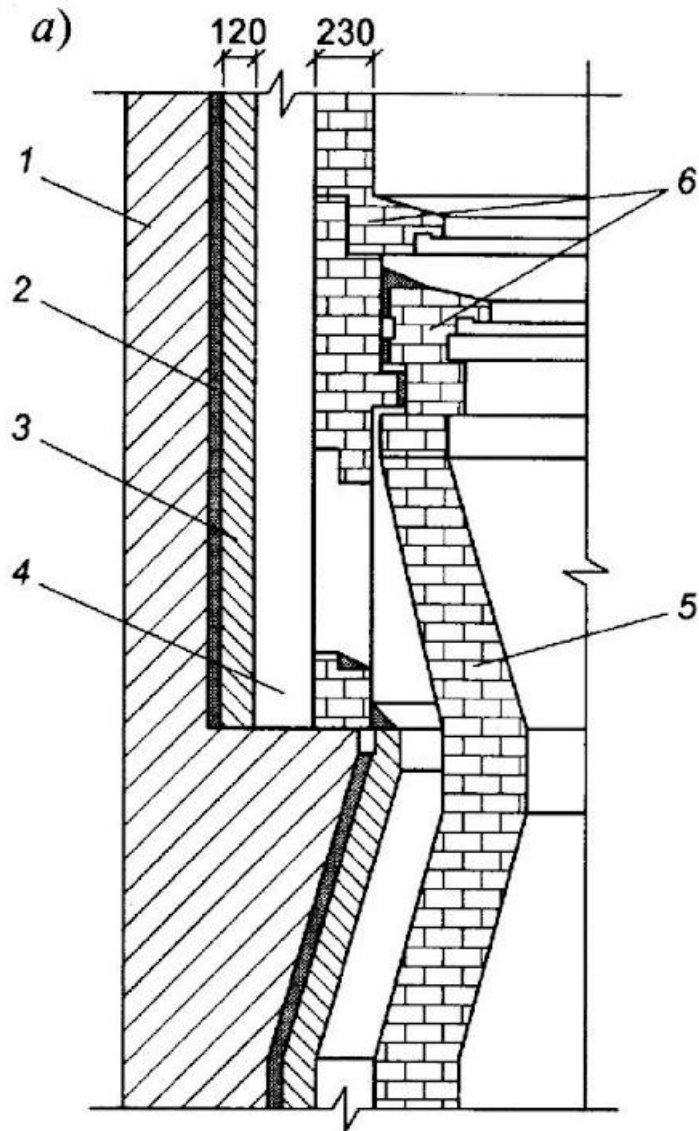
**Подъем на трубу осуществляется по ходовой лестнице с промежуточными металлическими площадками. Площадки необходимы для осмотра, ремонта трубы и установки сигнальных огней.**

**Для высоких многоствольных труб предусматривают лифты, которые располагают в пространстве между башней (оболочкой) и стволами.**

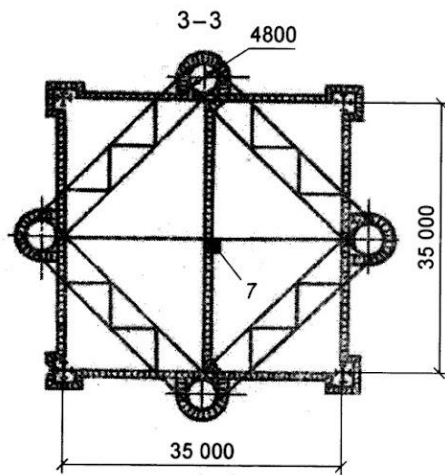
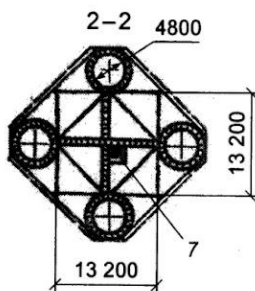
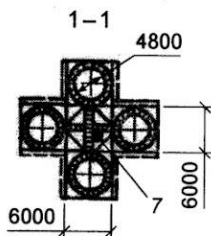
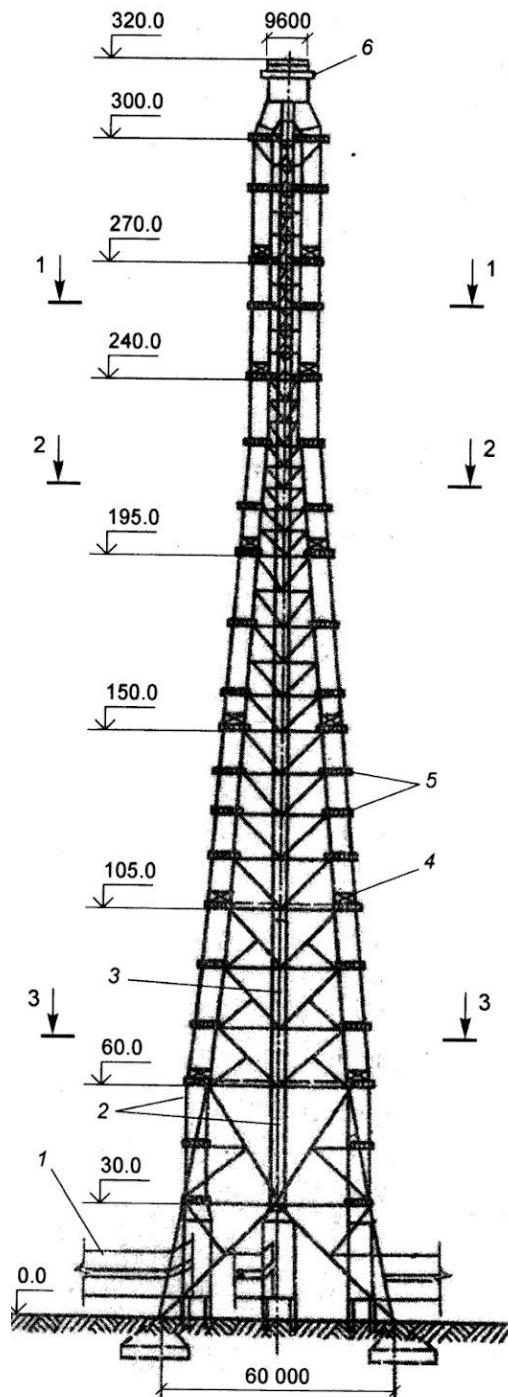
**Для лучшей видимости в дневное время оболочку трубы окрашивают кольцевыми чередующимися полосами, обычно красными и белыми.**

**Молниезащита трубы состоит из молниеприемников – стальных труб, размещаемых вертикально по периметру башни (оболочки) и возвышающихся над устьем на высоту до 2 м. Трубы объединяются стальными элементами в виде троса с отводом к основанию трубы. Отводящий элемент обычно крепится к ходовой лестнице. Заземляющий контур состоит из стальных труб, располагаемых вокруг фундамента на**

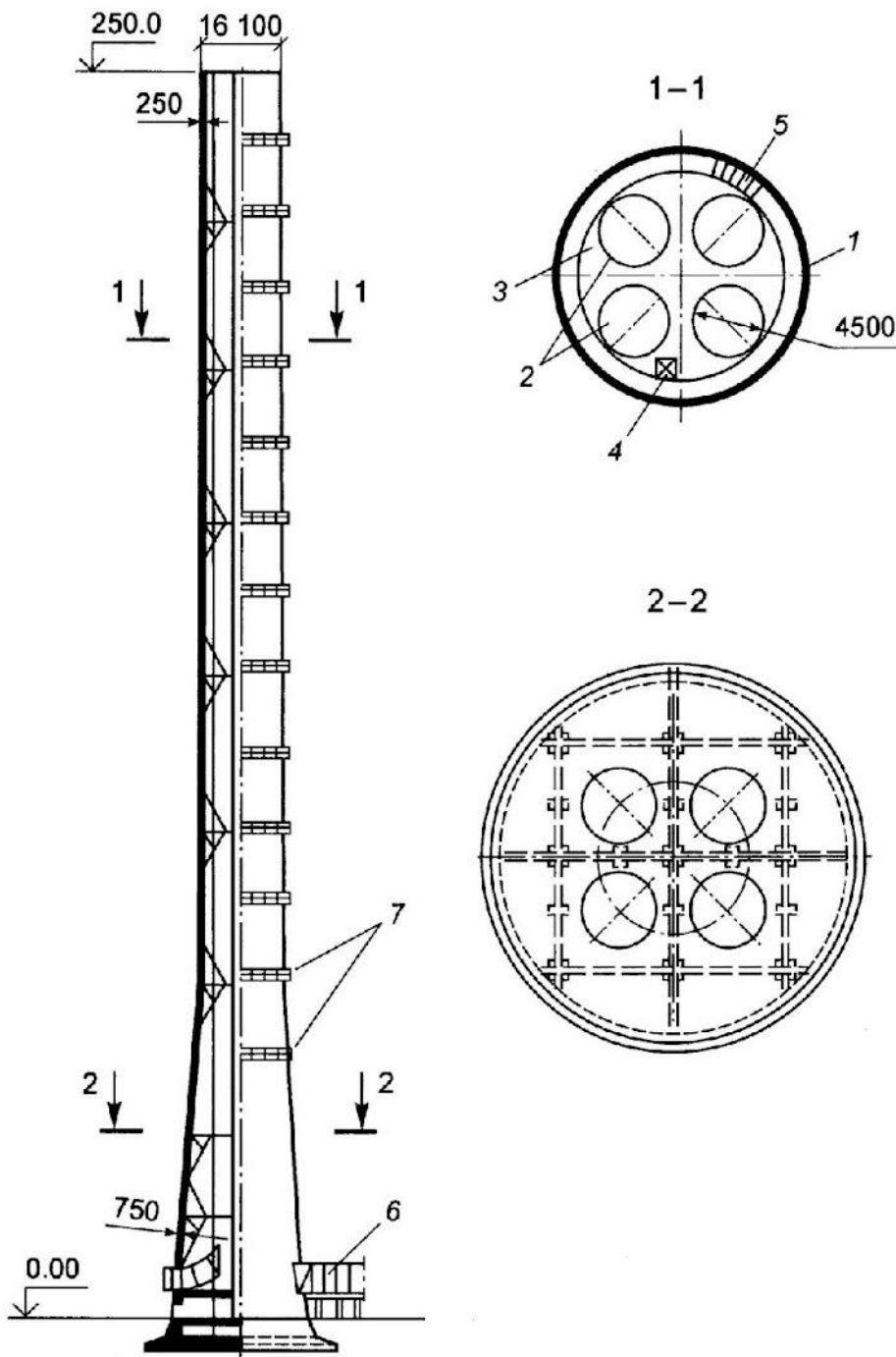
# Труба железобетонная с футеровкой из кирпича

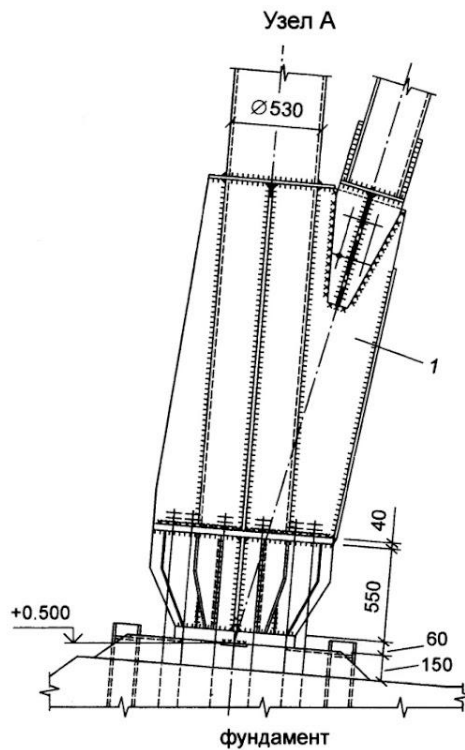
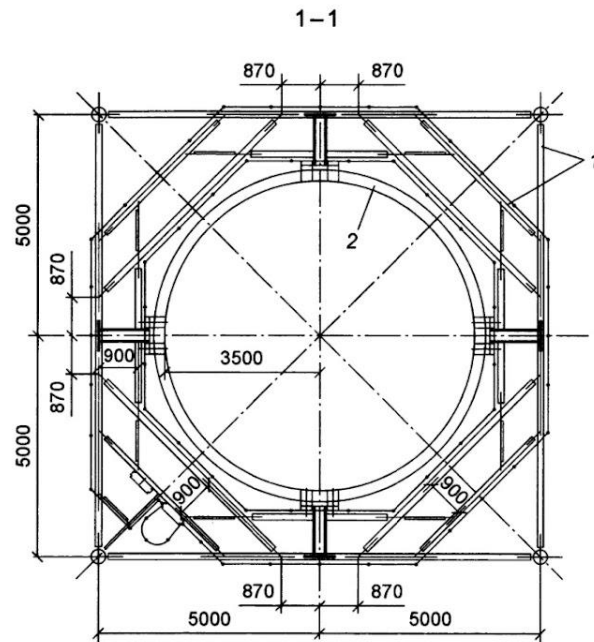
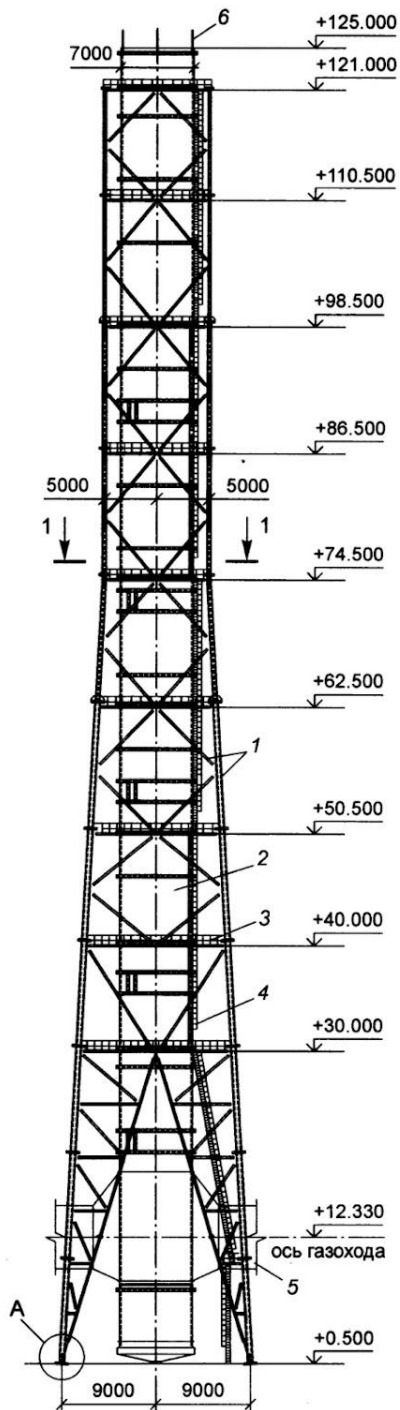


# Металлическая руба с четырьмя газоотводящими стволами



# Труба железобетонная с четырьмя металлическими газоотводящими стволами





# Металлическая дымовая труба с одним газоотводящим стволом



**При возведении железобетонной трубы в зимнее время строительную площадку окружают так называемым тепляком, где плюсовая температура поддерживается с помощью калориферов.**



**Сооружение финальной части фундамента под дымовую трубу — так называемого стакана. Сначала монтируется арматура, затем создается бетонная форма.**









# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА УСТЬЯ

**ДЫМОВОЙ ТРУБЫ**  
Поскольку расход дымовых газов

определяется выражением  $V_{\text{дг}} = w_0 S$ ,  
м<sup>3</sup>/с,

где  $w_0$  – скорость газов на выходе из  
трубы, м/с;  $S = \pi D^2/4$  – площадь  
поперечного сечения устья трубы, м<sup>2</sup>,  
то диаметр устья трубы можно найти  
следующим образом:

$$D = \sqrt{\frac{4V_{\text{дг}}}{\pi w_0}}$$

**Расход дымовых газов  $V_{\text{дг}}$ , м<sup>3</sup>/с:**

$$V_{\text{дг}} = BV_{\text{г}} \frac{t_{\text{ух}} + 273}{273}$$

**Здесь  $B$  – суммарный расход топлива со всех котлов, работающих на одну дымовую трубу, м<sup>3</sup>/с (кг/с);**

**$V_{\text{г}}$  – действительный объем продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> (м<sup>3</sup>/кг);  $t_{\text{ух}}$  – температура уходящих газов, °С.**

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^0 + 1,0161(\alpha_{yx} - 1)V^0$$

**Скоростью газов на выходе из трубы  $w_0$  задаемся в пределах:**

Высота трубы, м	60	120	150	180	250	320
Скорость газов на выходе, м/с	10-20	15-25	20-30	25-35	30-40	35-45

**Поскольку высота трубы еще не известна,  
то в первом приближении можно принимать любое значение скорости**

После определения диаметра устья  
трубы  
его следует округлить до ближайшего  
типового значения  $D_0$ : 2,4; 3,0; 3,6; 4,2; 4,8;  
6,0; 7,2; 8,4; 9,6 м.  
Затем уточняется значение скорости  
газов  
на выходе из трубы, м/с:

$$w_0^{\text{ут}} = \frac{4V_{\text{дг}}}{\pi D_0^2}$$

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВЫХ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

В дымовых газах основные вредные вещества – это оксиды азота  $\text{NO}_x$  (при сжигании любого топлива), диоксид серы  $\text{SO}_2$  (при сжигании угля и мазута) и зола (только при сжигании угля).

Масса золы, выбрасываемой в атмосферу из дымовой трубы, г/с:

$$M_3 = 1000B \frac{A^p}{100} a_{\text{ун}} (1 - \eta_{3y})$$



**Здесь  $B$  – суммарный расход топлива со всех котлов, работающих на одну дымовую трубу, кг/с;  $A^P$  – зольность топлива, %;  $a_{ун}$  – доля золы, уносимой из топки с продуктами сгорания (для антрацитов  $a_{ун} = 0,10$ ; для каменных углей  $a_{ун} = 0,15$ ; для бурых углей  $a_{ун} = 0,50$ );  $\eta_{зу}$  – степень улавливания золы в золоуловителях (для циклонных золоуловителей  $\eta_{зу} = 0,9$ ).**

**Масса диоксида серы, выбрасываемой в атмосферу из дымовой трубы, г/с:**

$$M_{\text{SO}_2} = 1000B \frac{2S^p}{100} (1 - \eta_{\text{SO}_2})$$

**Здесь  $S^p$  – содержание серы на рабочую массу топлива, %;  $\eta_{\text{SO}_2}$  – доля оксидов серы, связанных летучей золой в котле (для Канско-Ачинских углей  $\eta_{\text{SO}_2} = 0,2$ ; для Экибастузских углей  $\eta_{\text{SO}_2} = 0,02$ ; для остальных углей  $\eta_{\text{SO}_2} = 0,1$ ; для мазута  $\eta_{\text{SO}_2} = 0,02$ ).**

**Массовый выброс оксидов азота  
в пересчете на  $\text{NO}_2$ , г/с:**

$$M_{\text{NO}_2} = c_{\text{NO}_2} B V_{\Gamma}$$

**Здесь  $B$  – суммарный расход топлива  
со всех котлов, работающих на одну  
дымовую трубу, кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ );**

**$c_{\text{NO}_2} = 0,2 \text{ г/м}^3$  – концентрация оксидов азота  
в продуктах сгорания;  $V_{\Gamma}$  – объем продуктов  
сгорания,  $\text{м}^3/\text{кг}$  ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ).**

### **3. ВЫБОР ВЕЩЕСТВА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫСОТЫ ТРУБЫ**

**Поскольку дымовая труба должна обеспечивать рассеивание всех веществ до уровня ПДК, то расчет ведут по каждому вредному веществу отдельно, а затем выбирают максимальную из полученных высоту трубы.**

**Для упрощения расчетов можно для каждого вещества найти вспомогательный комплекс:  $K_i = M_i F_i / \text{ПДК}_i$ .**

Здесь  $M_i$  – массовый выброс вещества, г/с;  
 $F_i$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания вещества в воздухе

( $F = 1$  для газообразных веществ

и  $F = 2,5$  для золы); ПДК $_i$  – среднесуточная

ПДК в атмосферном воздухе населенных

мест, мг/м<sup>3</sup> (ПДК $_3 = 0,10$  мг/м<sup>3</sup>;

ПДК $_{SO_2} = 0,05$  мг/м<sup>3</sup>; ПДК $_{NO_2} = 0,04$  мг/м<sup>3</sup>).

Для того вещества, у которого данный комплекс  $K$  выше, высота дымовой трубы при расчете также будет выше. Поэтому дальнейший расчет можно вести по одному веществу с наибольшим из рассчитанных  $K$ .

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

Высота дымовой трубы  $H$ , м:

$$H = \sqrt{\frac{AMFm\eta}{\text{ПДК} \sqrt[3]{V_{\text{дг}} \Delta t}}}$$

**Здесь  $A$  – коэффициент температурной стратификации атмосферы ( $A = 200$  для Казахстана, нижнего Поволжья, Кавказа, Сибири, Дальнего Востока;  $A = 160$  для севера и северо-запада европейской территории России, среднего Поволжья и Урала;  $A = 120$  для центральной части европейской территории России).**

***m* – безразмерный коэффициент, учитывающий условия выхода газовой смеси из устья дымовой трубы и зависящий от скорости газов, их температуры, объема выбросов:**

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,54\sqrt[3]{f}}$$



**$f$  – параметр, зависящий от геометрических размеров источника (геометрический коэффициент):**

$$f = \frac{10^3 \left( w_0^{\text{ут}} \right)^2 D_0}{H^2 \Delta t}$$

**$\Delta t = t_{\text{ух}} - t_{\text{в}}$  – разность между температурой выбрасываемых из трубы газов и средней максимальной температурой воздуха в самый теплый месяц года, °С. Значение  $t_{\text{в}}$  принимается по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».**

**$n$  – безразмерный коэффициент, учитывающий условия выхода струи загрязняющего вещества из устья дымовой трубы и зависящий от численного значения параметра  $v_m$ , м/с:**

$$v_m = 0,653 \sqrt[3]{\frac{V_{\text{дг}} \Delta t}{H}}$$

При  $v_m \leq 0,5$ :  $n = 4,4v_m$

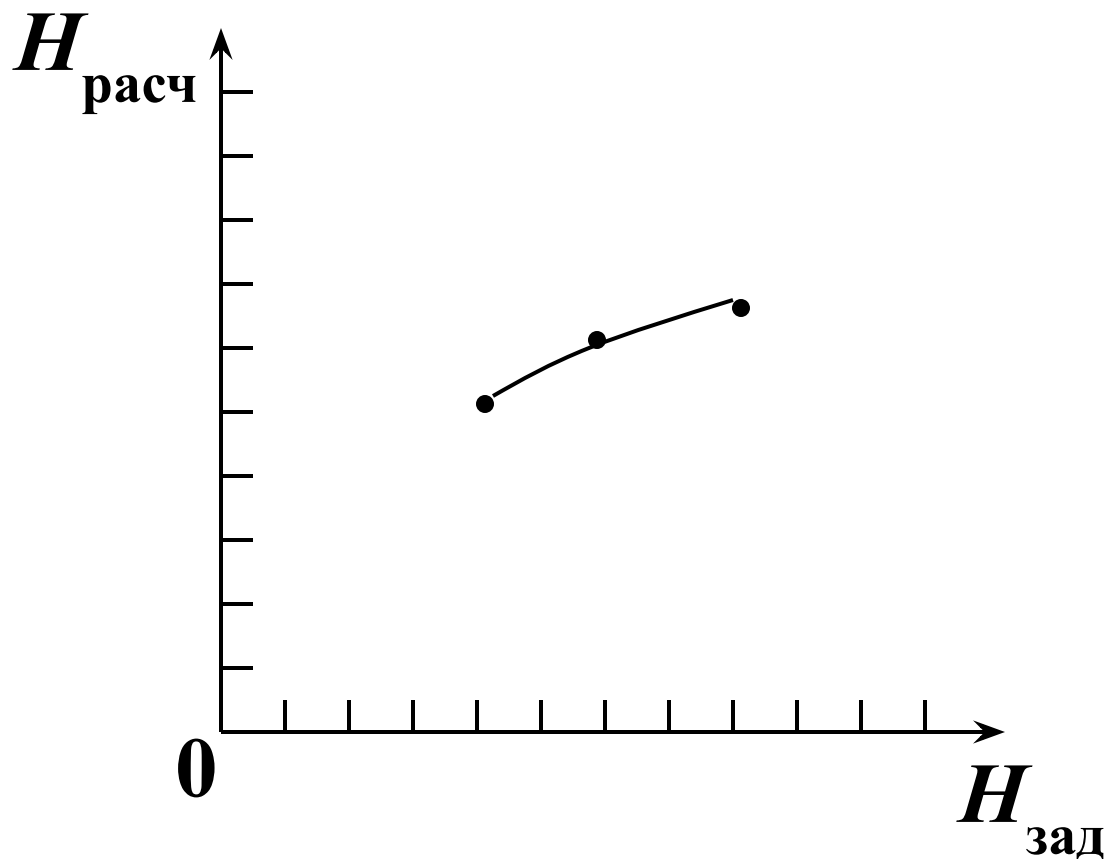
При  $0,5 < v_m \leq 2,0$ :  $n = 0,532v_m^2 - 2,31v_m + 3,13$

При  $v_m > 2,0$ :  $n = 1$

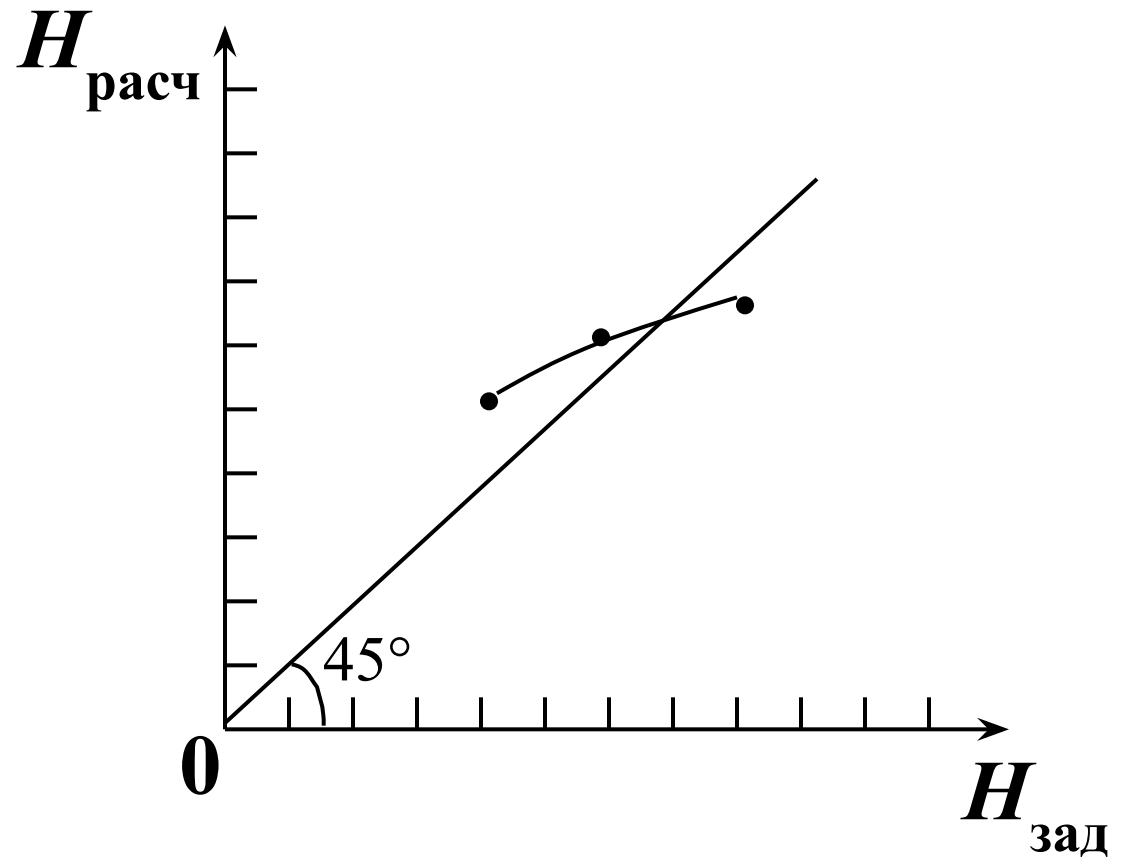
Поскольку значения безразмерных коэффициентов  $m$ ,  $n$  зависят от высоты трубы  $H$ , которая еще не известна, то применяется следующая методика определения  $H$ :

- 1) задаются 3–4 значения высоты трубы  $H_{\text{зад}}$ ;
- 2) для каждого из них определяются коэффициенты  $f$ ,  $m$ ,  $n$ ;
- 3) полученные значения подставляются в формулу для  $H$  и определяются расчетные значения высоты трубы  $H_{\text{расч}}$ ;

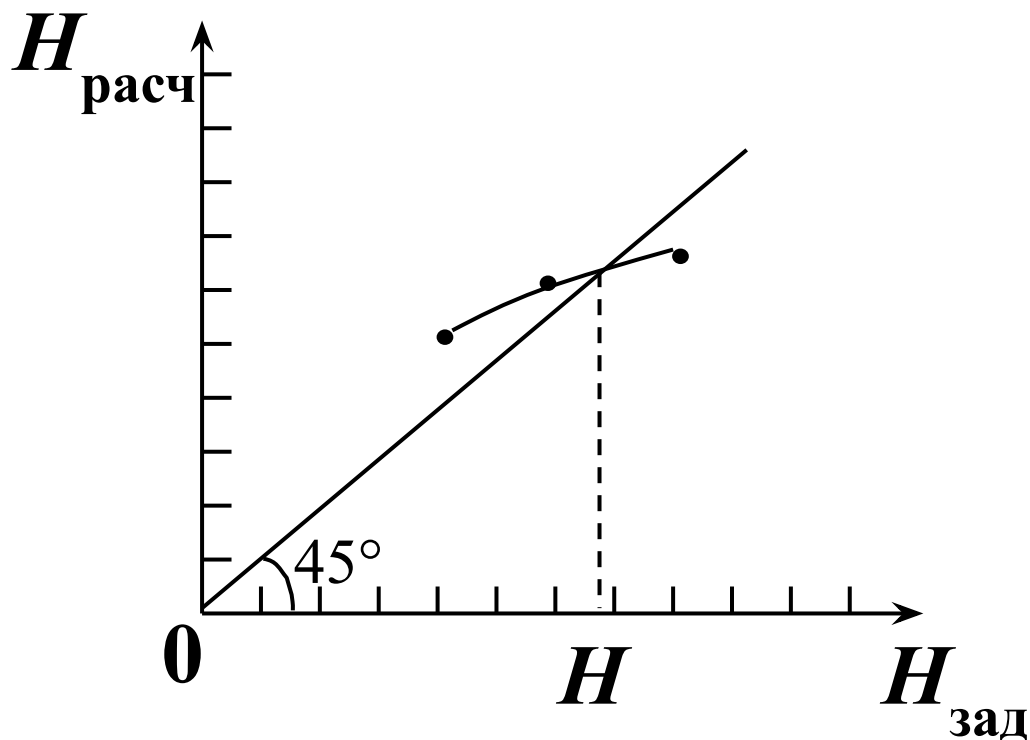
4) строится график  $N_{\text{расч}} = f(N_{\text{зад}})$  обязательно с одинаковым масштабом по обеим осям;



5) на графике проводится прямая под углом  $45^\circ$  между осями (смысл прямой: на ней лежат точки, соответствующие условию  $N_{\text{расч}} = N_{\text{зад}}$ );



б) определяется пересечение прямой и функции  $H_{\text{расч}} = f(H_{\text{зад}})$ ; точка пересечения соответствует искомой высоте трубы  $H$ ;



7) для кирпичных и железобетонных труб найденное значение  $H$  округляется до типового значения  $H_0$  в большую сторону.

$H_0$	$D_0, \text{ M}$								
	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6
45	■	■							
50	■	■							
60	■	■							
70	■	■	■	■					
80		■	■	■	■				
90		■	■	■	■				
100		■	■	■	■	■	■		
120			■	■	■	■	■		
150				■	■	■	■	■	■
200						■	■	■	■

# **САМЫЕ ВЫСОКИЕ ТРУБЫ ТЭС**

**Экибастузская  
ГРЭС-2 (Казахстан)**

**Топливо – уголь.  
Высота трубы 420  
м;**

**диаметр трубы  
у основания 44 м;  
диаметр устья 14,2  
м; масса трубы  
60 тысяч тонн**







**Березовская ТЭС (Россия, Красноярский край)**

**Топливо – бурый уголь.**

**Высота трубы 370 м.**



**Рефтинская ТЭС (Россия, Свердловская обл.)**

**Топливо – экибастузский каменный уголь.  
Высота трубы № 4 – 330 м.**

# **ТИПЫ СТАНЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**В систему трубопроводов ТЭС**

**входят:**

- 1) трубы;**
- 2) компенсаторы тепловых расширений;**
- 3) запорная арматура;**
- 4) регулирующая арматура;**
- 5) защитная арматура;**
- 6) подвижные и неподвижные опоры;**
- 7) тепловая изоляция.**

**По виду транспортируемой среды трубопроводы подразделяют на:**

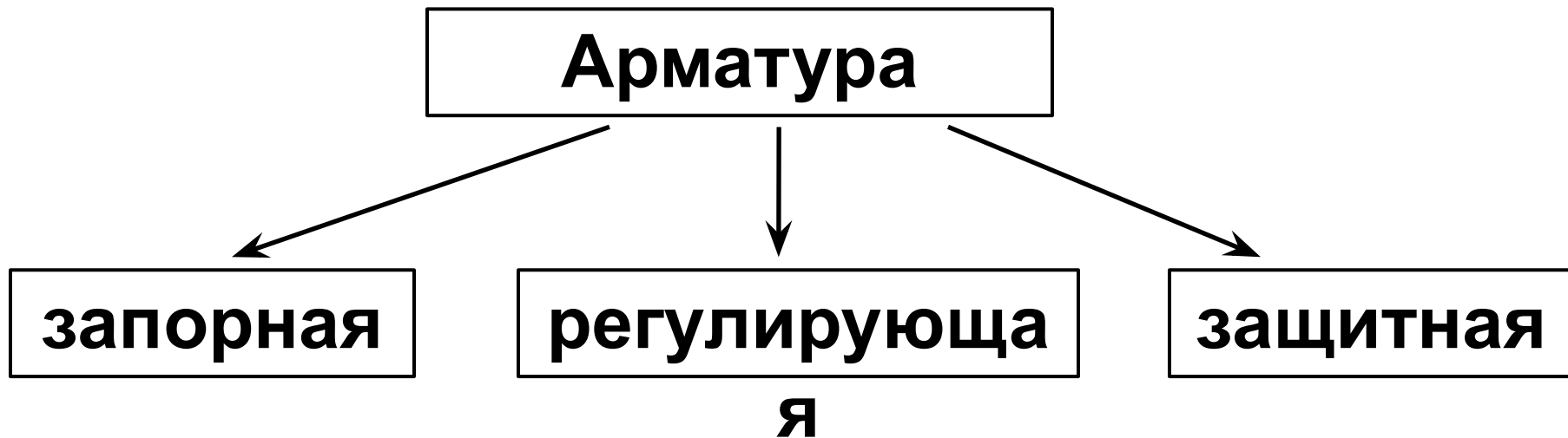
- 1) паропроводы;**
- 2) водопроводы;**
- 3) воздухопроводы;**
- 4) газоходы;**
- 5) газопроводы;**
- 6) мазутопроводы;**
- 7) пылепроводы;**
- 8) маслопроводы.**

**На ТЭС применяется сварное соединение труб и арматуры. Сварное соединение снижает потерю теплоносителя, упрощает ремонт и монтаж, повышает надежность трубопроводов.**

**Трубопроводы устанавливаются на опорах и покрываются антикоррозионной и тепловой изоляцией.**

# Арматура

**Арматура – это устройства, обеспечивающие управление работой оборудования и нормальные условия его эксплуатации.**



***Запорная* арматура всегда находится в полностью открытом или полностью закрытом положении. К ней относятся краны, вентили, задвижки.**

***Регулирующая* арматура предназначена для регулирования расхода рабочей среды путем изменения проходного сечения трубопровода.**

**Это различные редуционные клапаны, регулирующие вентили с автоматическим приводом (электроприводом).**

**Защитная арматура обеспечивает безопасную эксплуатацию оборудования.**

**К ней относятся:  
предохранительные сбросные клапаны, обратные клапаны, отсечные клапаны, водоуказательные стекла.**

**Крупнейшим поставщиком и ведущим предприятием по выпуску трубопроводной арматуры на высокие и сверхвысокие параметры для ТЭС и АЭС является Чеховский завод энергетического машиностроения (ЧЗЭМ).**



**Для устройства тепловой изоляции и обмуровки трубопроводов и оборудования ТЭС применяются следующие материалы:**

- 1) МКРВ-200 (муллитокремнеземистое волокно),  $\lambda = 0,045$  Вт/(м·К);**
- 2) МПБ-30 (маты прошивные базальтовые),  $\lambda = 0,036$  Вт/(м·К);**
- 3) М1-100 (минераловатные маты),  $\lambda = 0,045–0,058$  Вт/(м·К);**
- 4) МБОР-5 (базальтовое полотно),  $\lambda = 0,045$  Вт/(м·К);**
- 5) Асбоцементная штукатурка,  $\lambda = 0,23$  Вт/(м·К);**

- 6) Маты минераловатные в стеклоткани,  
 $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$**
  - 7) Огнеупорный бетон,  $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$**
  - 8) Савелитовая плита,  $\lambda = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$**
  - 9) Теплоизоляционный бетон,  
 $\lambda = 0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$**
  - 10) Кирпич шамотный,  $\lambda = 0,84 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}).$**
- Толщина теплоизоляционного слоя для оборудования и трубопроводов рассчитывается по формулам, приведенным в СНиП 2.04.14-88\* «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»**

# МКРВ-200



# МПБ-30



M1-100



# МБОР-5



# Маты минераловатные в стеклоткани



# Опоры

**Неподвижные  
(мертвые)**

**Обеспечивают жесткое  
закрепление  
трубопровод**

**ОВ**

**ПОДВИЖНЫ**

**шарнирные**

**пружинные**

**подвесные**

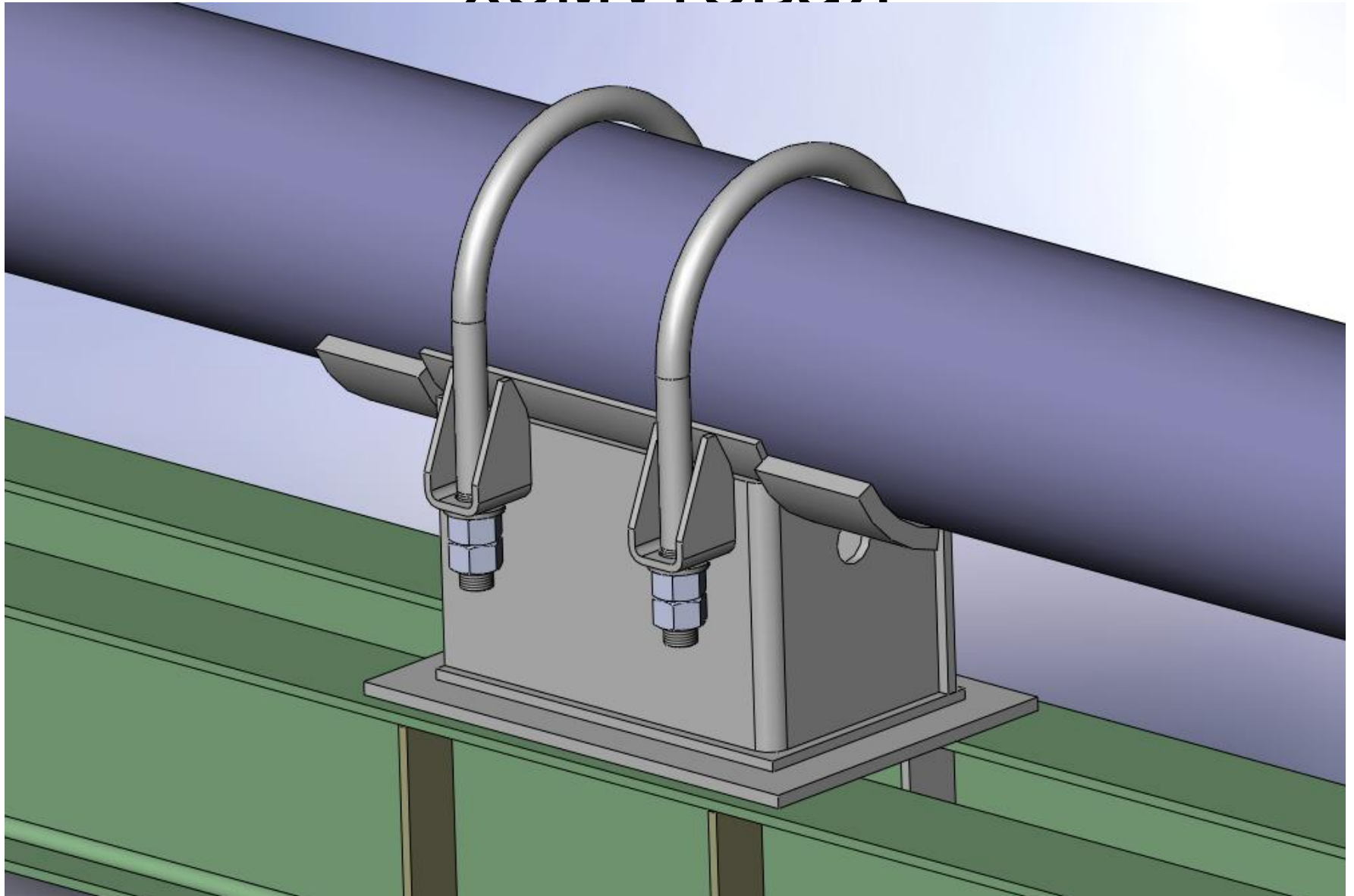
е

е



# Неподвижная опора

## ХОМУТОВАЯ



# Пружинная опора



# Подвесная опора



**Температура металла трубопровода меняется в зависимости от изменения температуры теплоносителя. Повышение температуры металла трубопровода на 100 °С вызывает его удлинение на 1,1–1,9 мм/м.**

# **КОМПОНОВКА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС**

**В главном корпусе располагаются котельное и турбинное отделения и помещения для вспомогательного оборудования (деаэраторов, насосов, дымососов и т.д.).**

**В котельном зале помимо котлов размещаются топливные бункеры. Золоуловители располагаются обычно рядом с котельным помещением на открытом воздухе. Дымовые трубы устанавливаются вблизи главного корпуса со стороны котельного зала.**

**Турбинное отделение предназначено для турбин, электрогенераторов и обслуживающих их вспомогательных механизмах.**

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

**К компоновке главного корпуса ТЭС  
предъявляются следующие  
требования:**

- 1) надежная, бесперебойная работа оборудования и удобство его обслуживания;**
- 2) экономичность сооружения (минимальные стоимость и расход материалов, уменьшение габаритов главного корпуса);**
- 3) компоновка должна обеспечивать возможность быстрого и качественного ремонта должны быть предусмотрены ремонтные и монтажные площадки;**

- 4) обеспечение санитарно-гигиенических условий труда, жизнедеятельности населения в районе ТЭС;**
- 5) возможность расширения ТЭС;**
- 6) удобная технологическая связь различных производственных сооружений и установок (технического водоснабжения, топливного хозяйства, систем золошлакоудаления и очистки дымовых газов, электрических распределительных устройств, ремонтных мастерских)**



**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**

# **Меры обеспечения безопасности работы персонала ТЭС**

**применительно**

**к компоновке главного корпуса:**

**1) предохранительные клапаны**

**в котельном цехе должны**

**группироваться на отдельных**

**площадках в стороне**

**от основных проходов**

**обслуживающего персонала, а их**

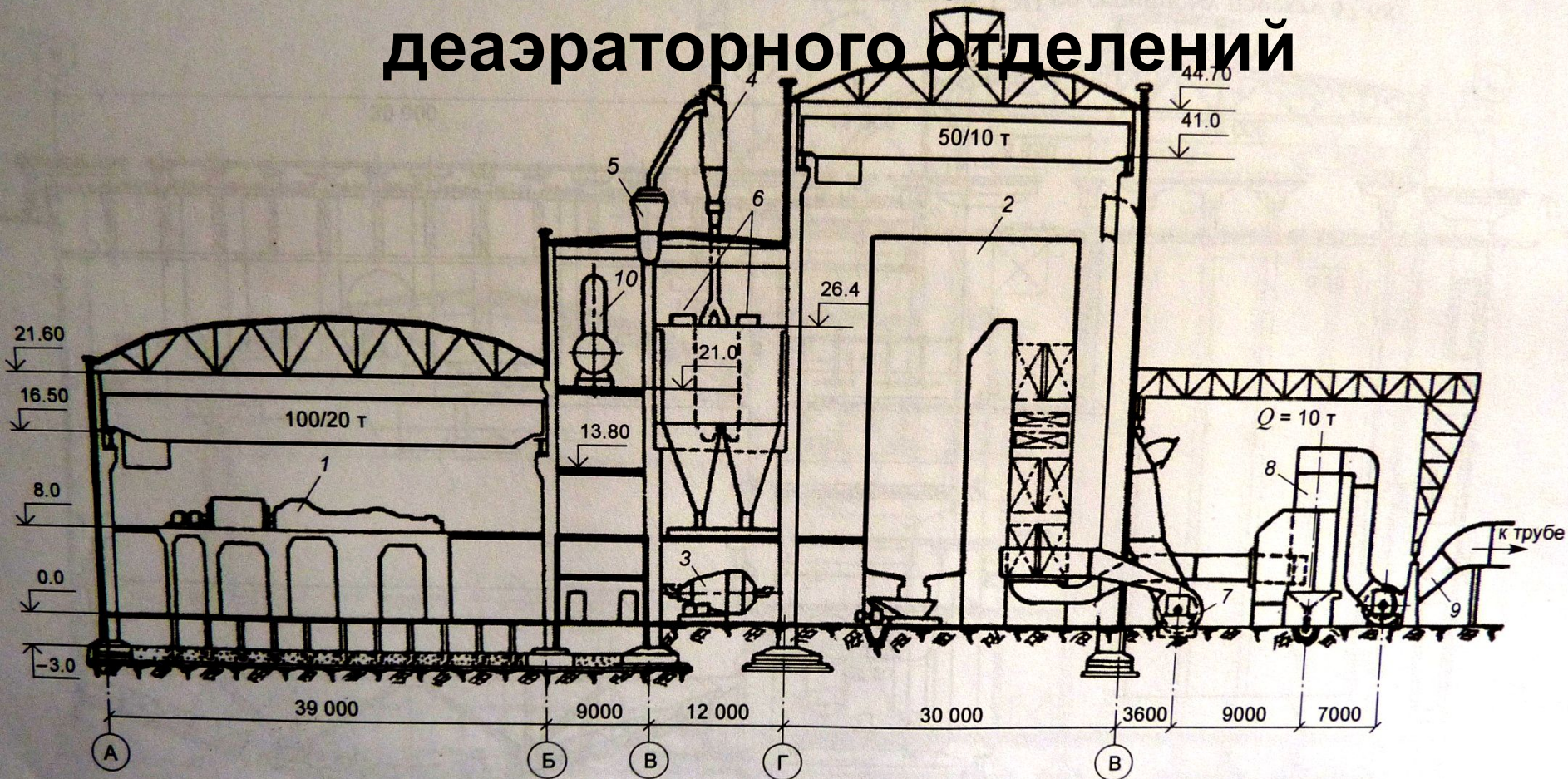
**выхлопы выходить**

**на крышу котельного цеха;**

- 2) взрывоопасное оборудование пылесистем на ТЭС, использующих твердое топливо, должны размещаться на открытом воздухе, обычно на крыше бункерной этажерки вдали от мест нахождения обслуживающего персонала;**
- 3) выхлопные короба взрывных клапанов топок котлов должны выходить наружу;**
- 4) магистрали топливного газа должны прокладываться на открытом воздухе**

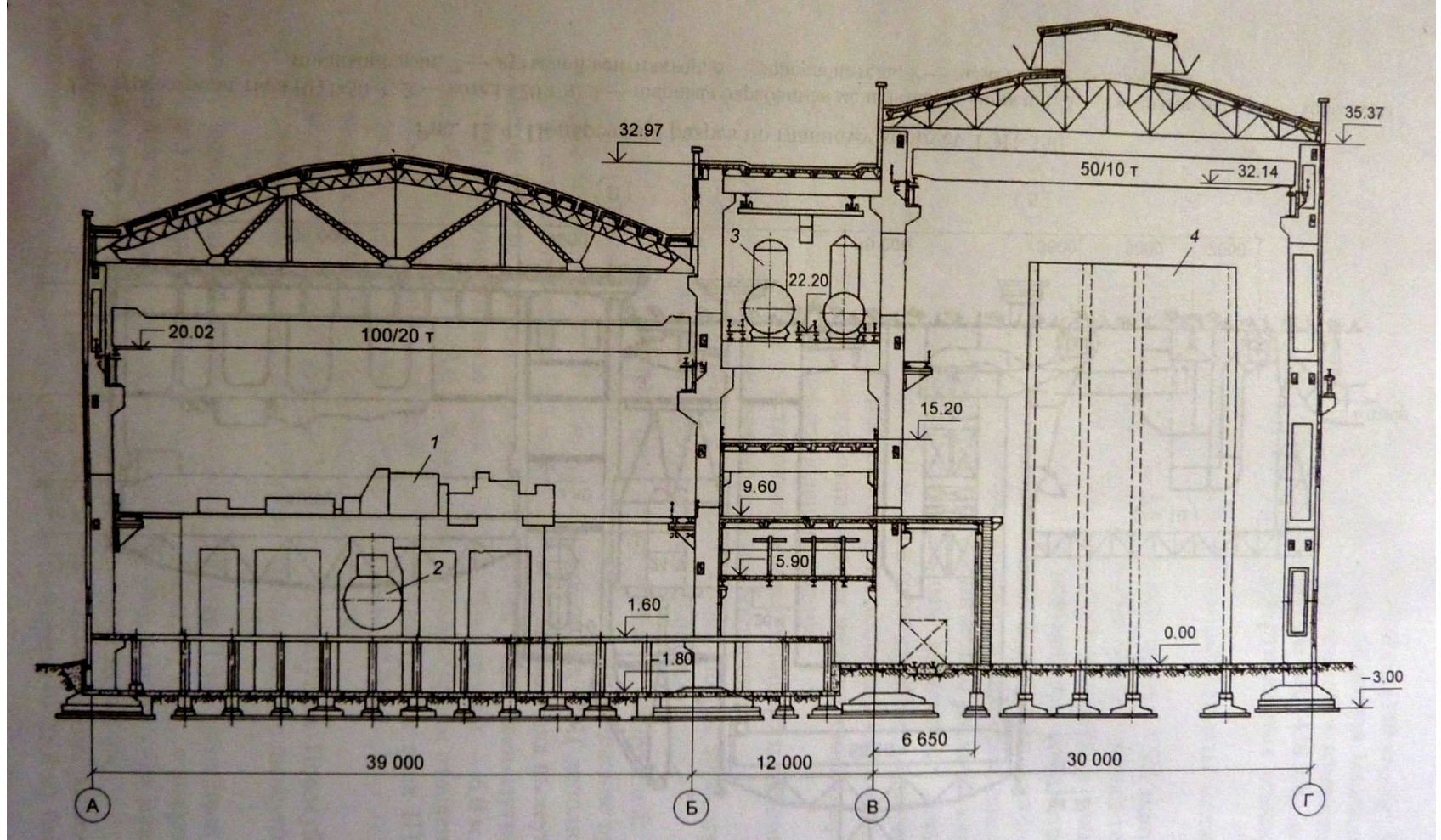
**Более половины капитальных затрат на строительство ТЭС приходится на оборудование и строительную часть главного корпуса. Показателем качества проекта компоновки главного корпуса ТЭС является его удельный строительный объем (на 1 кВт установленной мощности). Для современных ГРЭС этот показатель составляет около 0,6–0,7 м<sup>3</sup>/кВт, а для ТЭЦ – 1,5 м<sup>3</sup>/кВт.**

# Компоновка ТЭС со сдвоенным расположением бункерного и деаэраторного отделений



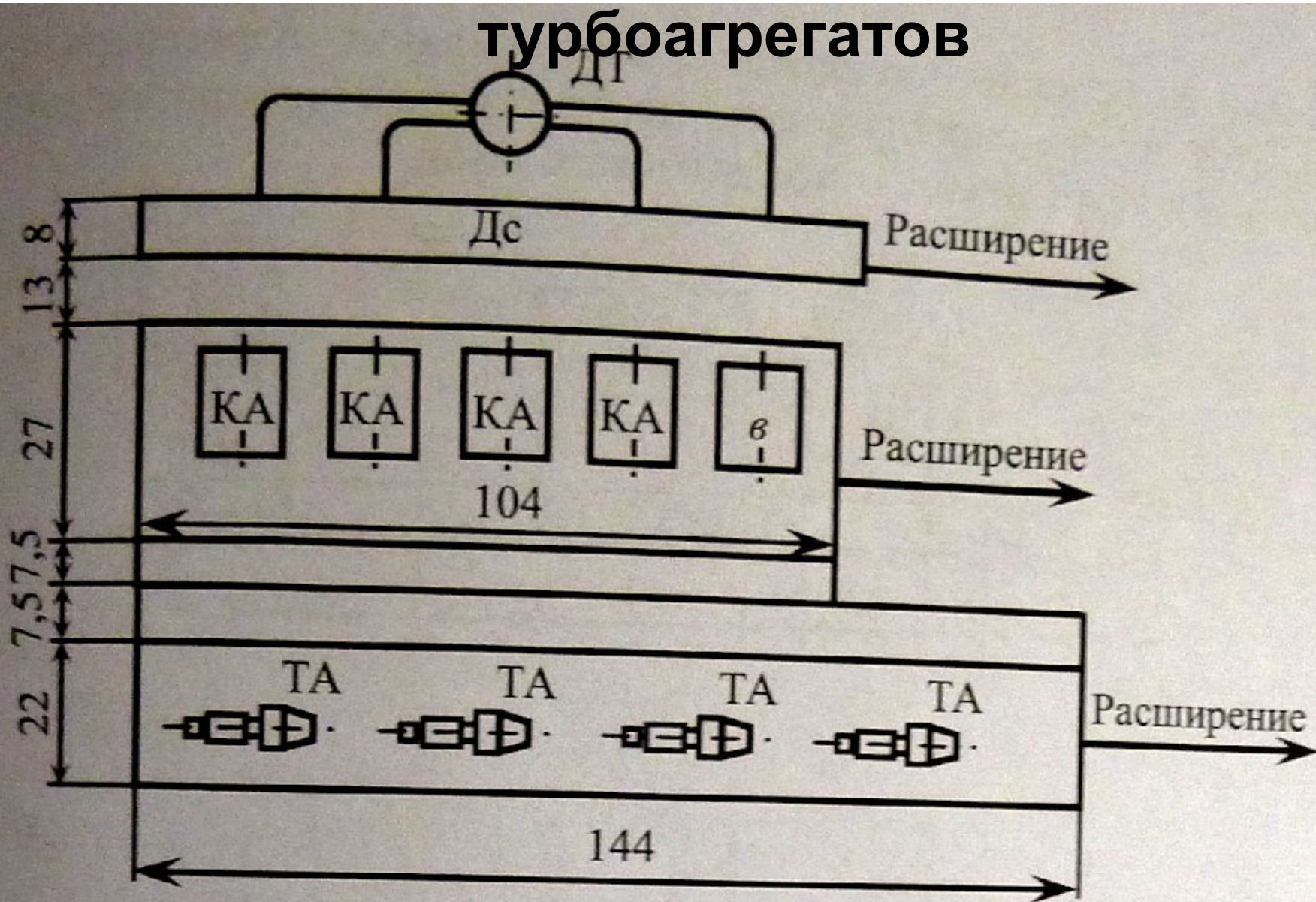
**1 – турбоагрегат; 2 – котел; 3 – ШБМ; 4 – циклон; 5 – сепаратор пыли; 6 – бункера пыли; 7 – дутьевой вентилятор; 8 – ЗУ;**

# Компоновка газомазутной ТЭС

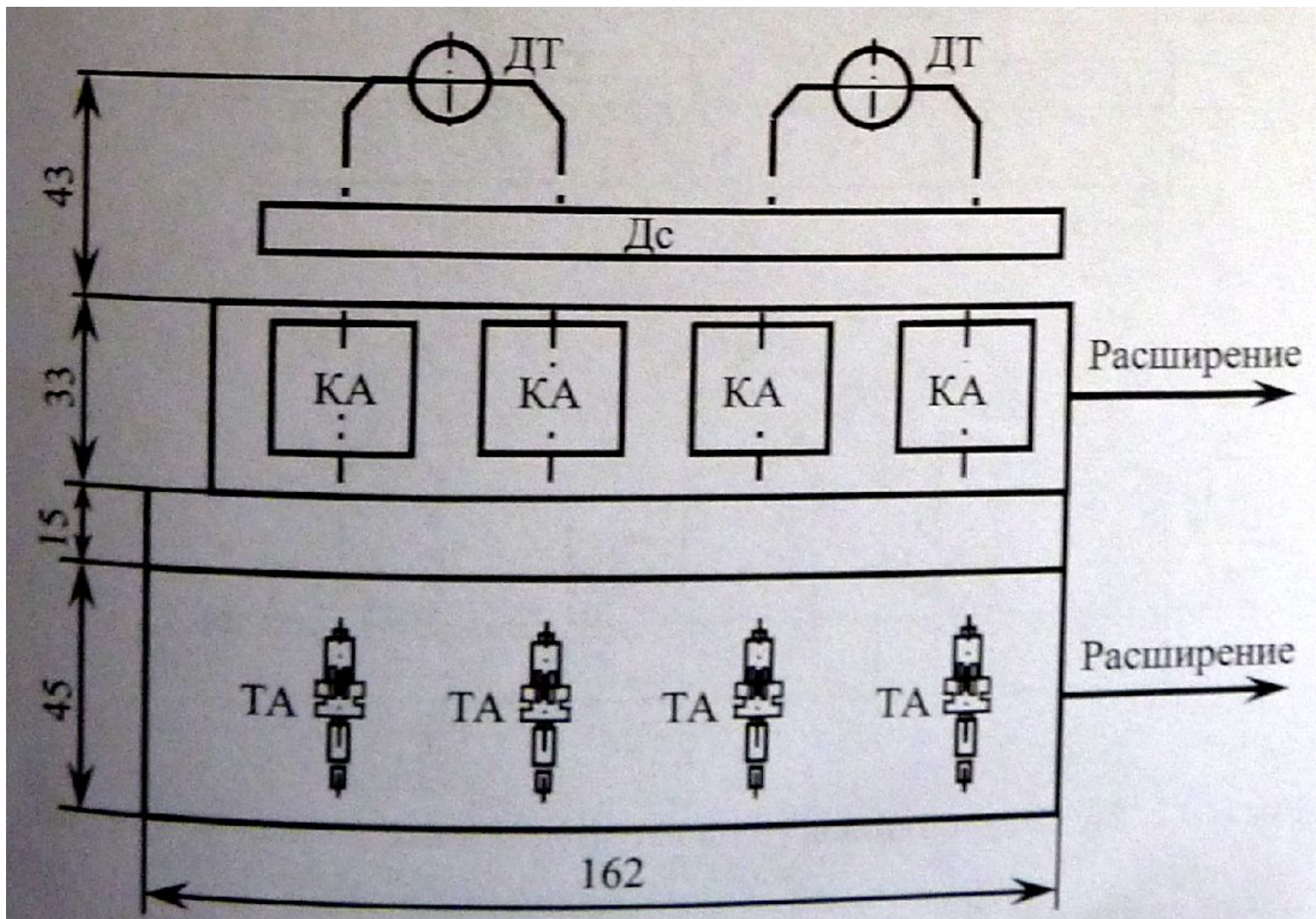


**1 – турбоагрегат; 2 – конденсатор; 3 – деаэратор; 4 – котел**

# 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, %:

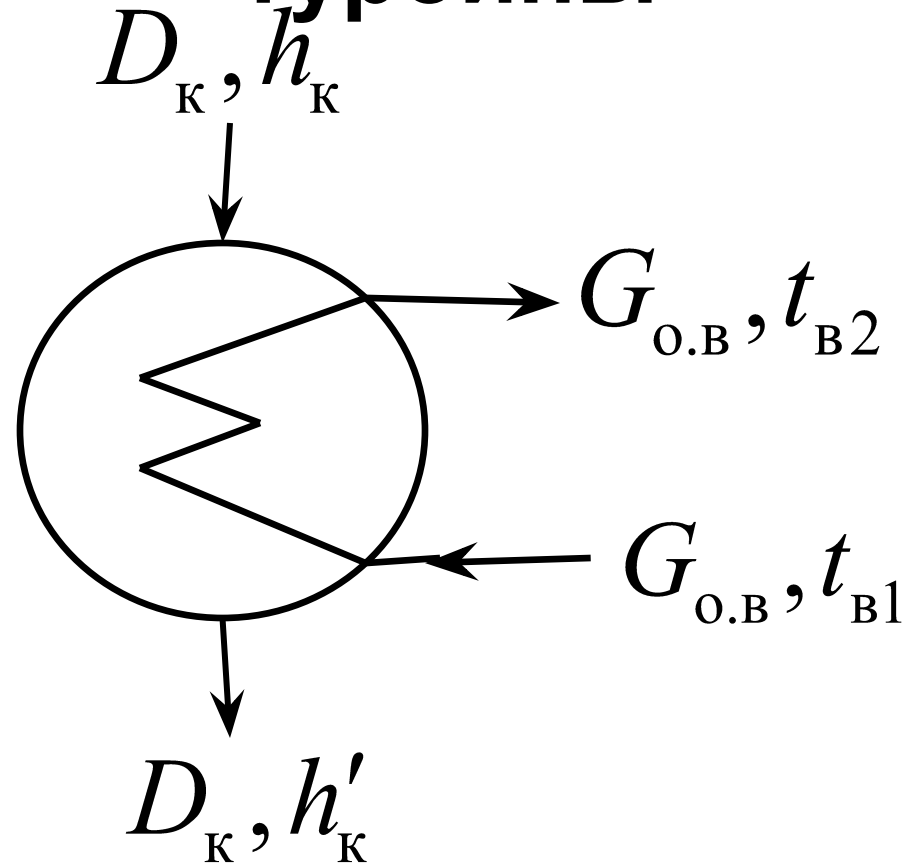
- газо- и воздухоохладители 2,5–12,5;
- добавочная вода на КЭС 0,04–0,12;
- добавочная вода на ТЭЦ 0,5–0,8;
- хозяйственные нужды 0,03–0,05;
- маслоохладители 1,2–3,5;

- **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**

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

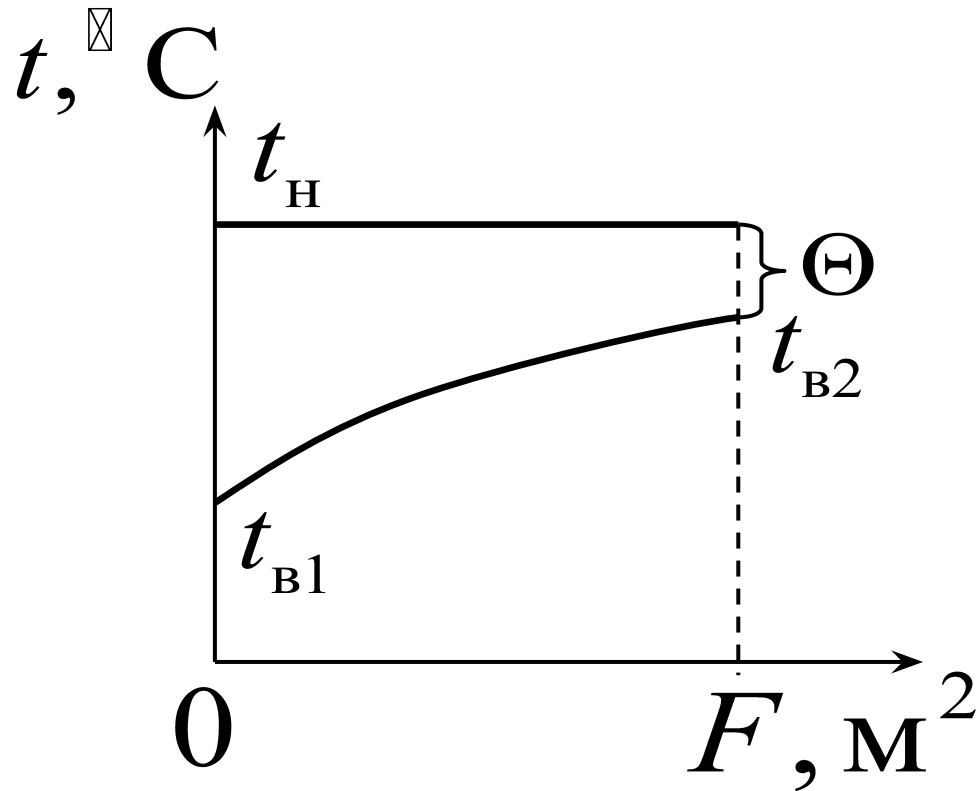
**Для одноходовых конденсаторов  $m = 100-110$  т воды/т пара. Для двухходовых конденсаторов  $m = 50-70$  т воды/т пара.**

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



**Величина недогрева охлаждающей воды до температуры насыщения в конденсаторе**

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



# **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.**

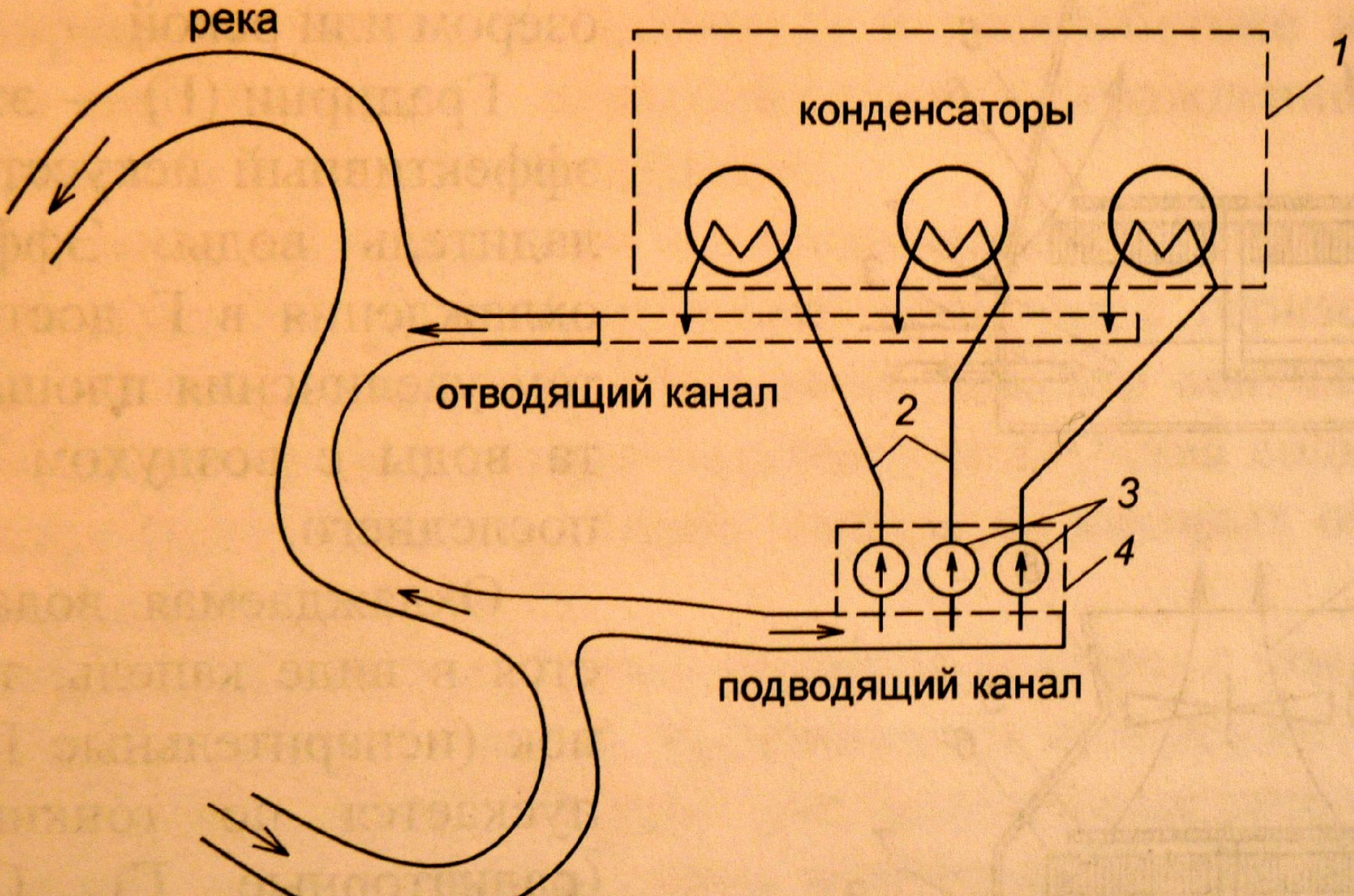
**Преимуществами прямоточной системы водоснабжения являются низкая температура воды, обеспечивающая глубокий вакуум в конденсаторе турбины, недорогие гидротехнические сооружения.**

**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 охлаждающих 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.**

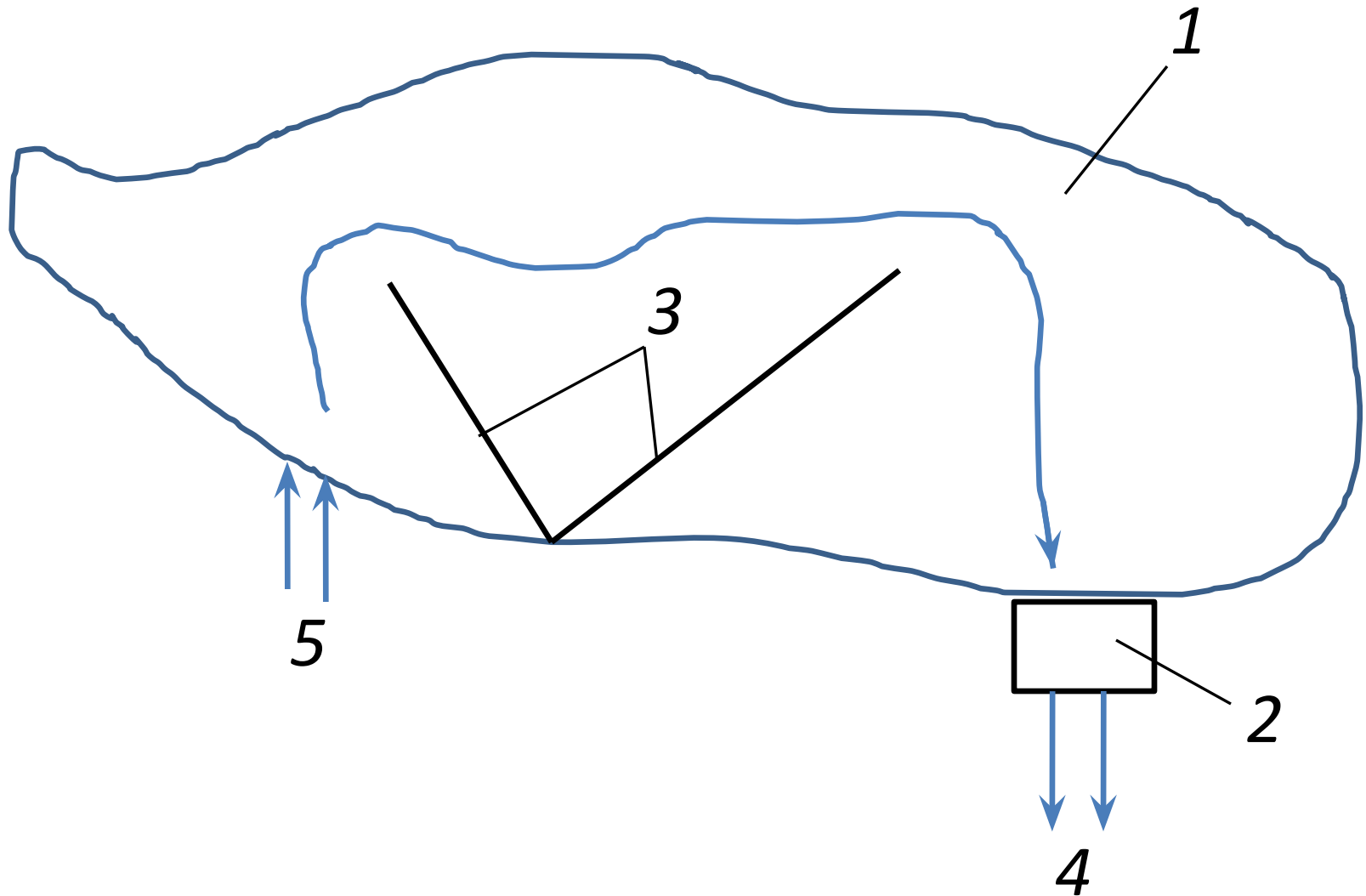
**Пруды-охладители широко применяются в нашей энергетике. Они создаются на базе небольшой реки с переменными расходами воды.**

**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 км<sup>2</sup> на 1000 МВт. Градирни, обеспечивающие аналогичную мощность охлаждения, занимают площадь не более 0,03 км<sup>2</sup>. 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  $k = 0,4–0,5$ ).**

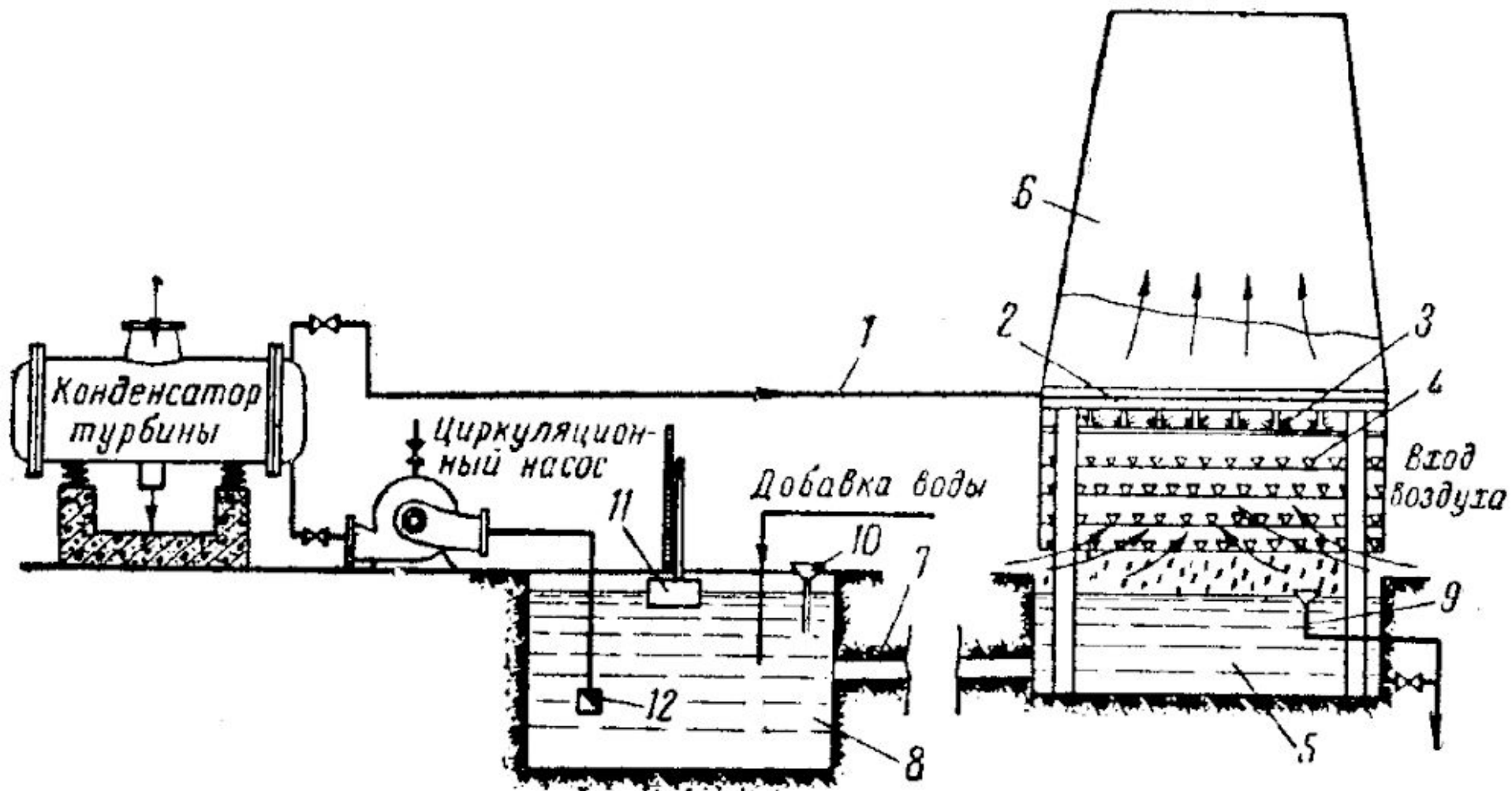
# **Системы обратного водоснабжения**

## **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*.**



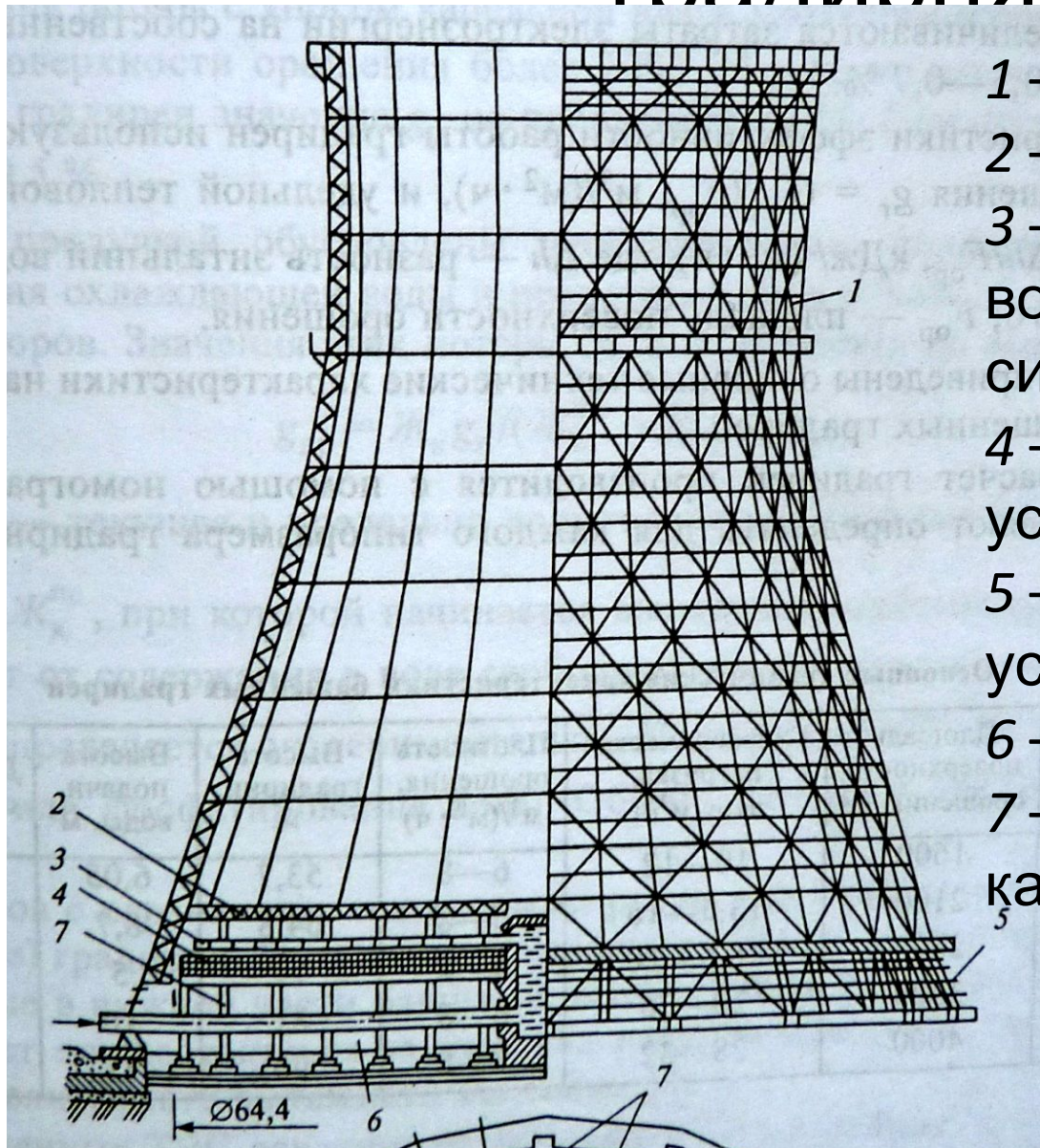
**Для увеличения контакта воды с воздухом применяются различные оросительные устройства, с помощью которых вода, подаваемая из конденсатора, разделяется на струи или капли и стекает вниз. Охлаждение воды происходит за счет испарения и контакта с воздухом, поступающим в оросительные устройства через окна.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



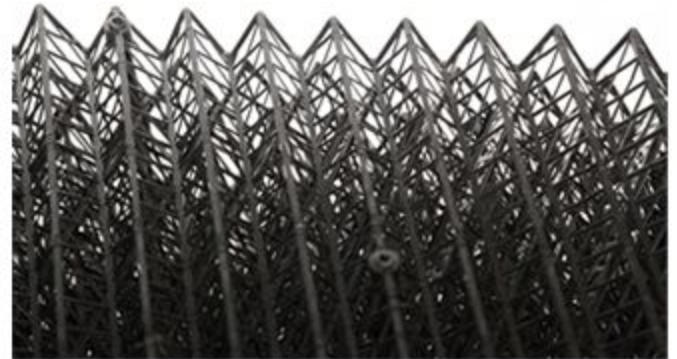
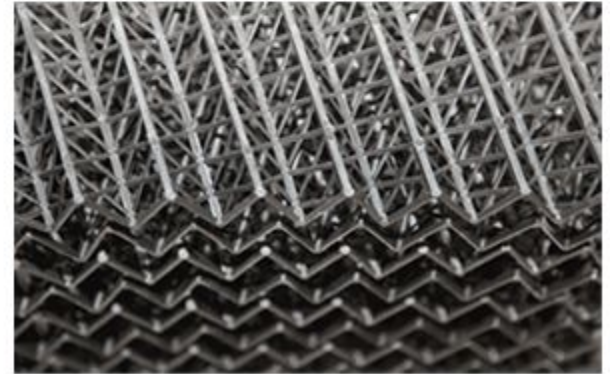
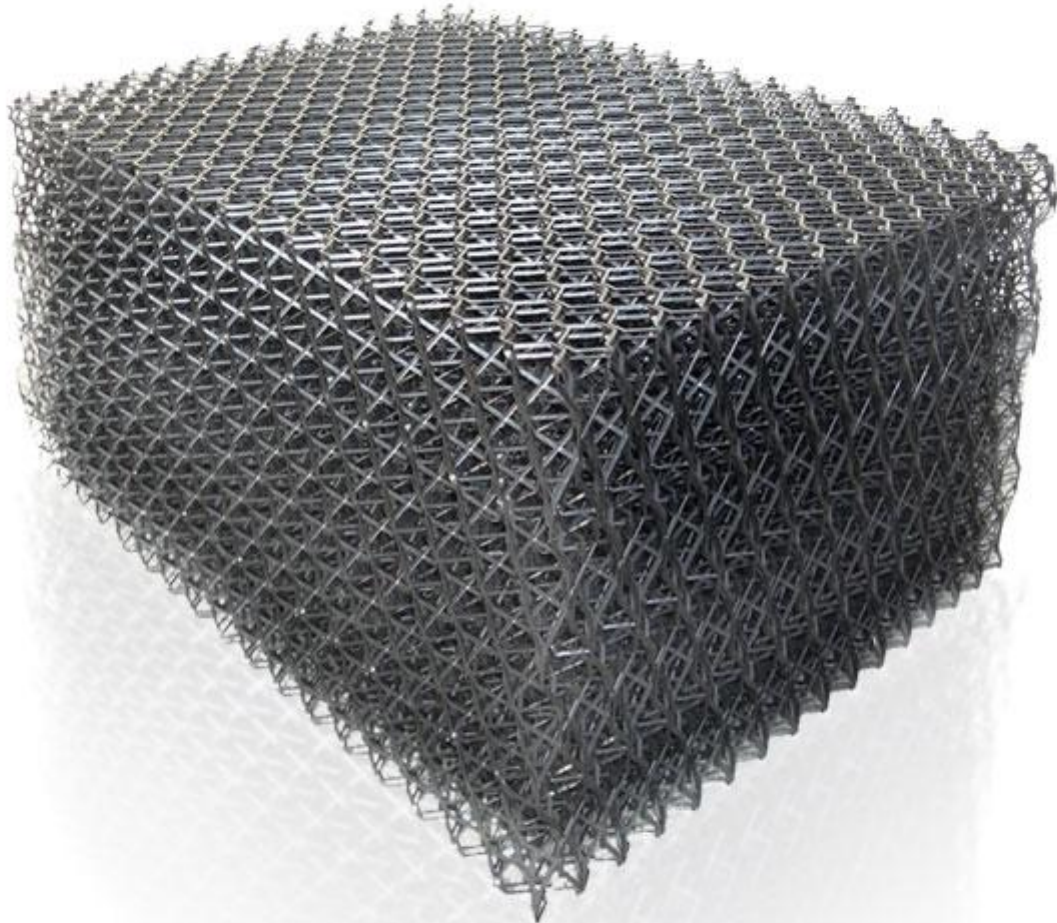
- 1 – вытяжная башня;
- 2 – каплеуловитель;
- 3 – водораспределительная система;
- 4 – оросительное устройство;
- 5 – воздухорегулирующее устройство;
- 6 – водосборный бассейн;
- 7 – несущий опорный каркас





**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



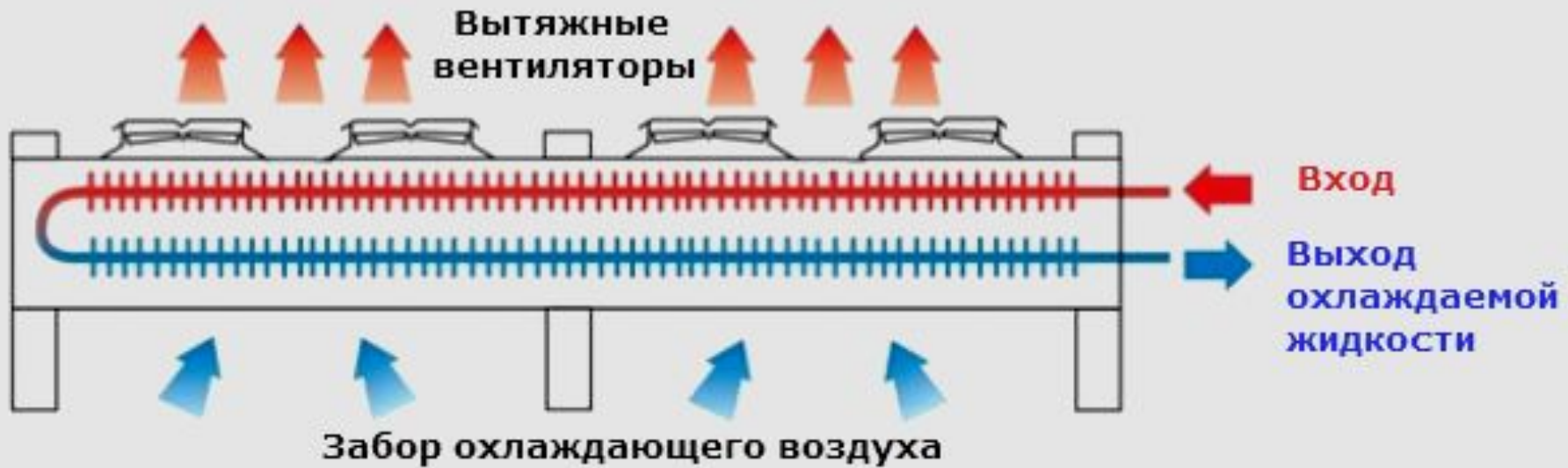




**Удельная площадь градирен составляет 0,01–0,02 м<sup>2</sup>/кВт, что в 300–400 раз меньше по сравнению с площадью пруда-охладителя. Глубина охлаждения в градирнях меньше, чем в прудах-охладителях. Испарение воды в градирне приводит к потерям циркуляционной воды. Для компенсации потерь продувкой и 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

