# Лекция 9

# 6. РАСЧЕТ РАССЕИВАНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ И ВЫБОР ДЫМОВЫХ ТРУБ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

## 6.1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАССЕИВАНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ И ВЫБОР ВЫСОТЫ ДЫМОВЫХ ТРУБ

Для практических расчетов рассеивания в атмосфере вредных примесей, используется методика, разработанная Главной геофизической обсерваторией им.А.И.Воейкова (СН 369-74). Â ýòîì ñëó÷àå расчет ведется при неблагоприятных мете­ороло­гиче­ских условиях, когда наблюдается интенсивный вертикальный тур­булентный обмен в атмосфере и скорость ветра достигает опасного значения.

**Опасная скорость ветра** — ско­рость, при которой для заданного состояния атмосферы концентрации вредных примесей на уровне дыхания людей достигают своей максимальной величины.

Опасную скорость ветра определяют из со­отношений:

*u*ì = 0,5 ïðè *v*ì ≤ 0,5;

*u*ì = *v*ì ïðè 0,5 ≤ *v*ì ≤ 2,0; (6.1)

*u*ì = *v*ì(1+0,12.*f*0,5) ïðè *v*ì ≥ 2,0;

где ; .

Çäåñü *v1 —* объемный расход выбрасы­ваемых уходящих газов, м3/с;

*ΔT* — разность между температурой выбрасываемых газов и средней темпера­турой воздуха *Т*в,°С, под которой понимается средняя температура самого жаркого месяца в полдень;

*h —* гео­метрическая высота трубы, м;

*w*0—скорость выхода га­зов из устья трубы, м/с;   
 *D*0*—*диаметр устья дымовой трубы, м.

При указанных условиях максимальная призем­ная концентрация вредных веществ для выброса из оди­ночного точечного источника с круглым устьем опреде­ляется по формуле

 (6.2)

где *А—* коэффициент, зависящий от температурной стратификации   
 атмосферы для неблагоприятных метео­рологических условий, определяющий условия верти­кального и горизонтального рассеивания вредных ве­ществ в атмосферном воздухе, с2/3мг/К1/3.

*М—* сум­марное количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;

*F—* безразмерный коэффициент, учи­тывающий скорость оседания вредных веществ в атмо­сферном воздухе;

*m* и *n —* безразмерные коэффициенты, учи­тывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса.

##### Значения коэффициента А

|  |  |
| --- | --- |
| Район | А |
| Субтропическая зона Средней Азии | 240 |
| Казахстан, Нижнее Поволжье, , Кавказ, Молдавия, Сибирь, Дальний Восток и остальные районы Средней Азии | 200 |
| Север и Северо-Запад европейской территории России,  Среднее Поволжье, Урал и Украина | 160 |
| Европейская часть Центра России | 120 |

##### Значения коэффициента F:

##### для газообразных примесей F = 1,

##### для пыли при степени улавливания: более 90% F = 2,

##### менее 90% F = 2,5;

**Коэффициент *m***определяется в зави­симости от *f*

. (6.3)

**Коэффициент *n*** определяется в зави­симости от *v*м:

при *v*м ≤ 0,3 *n* = 3;

при 0,3 < *v*м ≤ 2 *n* = 3- (6.4)

при *v*м > 2 *n* = 1.

Максимальная концентрация вредных веществ у земной поверхности при опасных метеорологических условиях *С*м имеет место на оси факела (по на­правлению среднего за рассматриваемый период време­ни ветра) на расстоянии

*Xм = dh,*

где *d* — безразмерная величина:

при *v*м ≤ 2 *d* = 4,25 *v*м(1+0,28),

при *v*м > 2 *d* = 7(1+0,28). (6.5)

Если безразмерный коэффициент *F ≥ 2,* величина *Xм* определяется из соотношения  
 *Xм = dh.* (6.6)

Приземная концентрация вредных веществ в атмо­сфере по оси факела на различных расстояниях *х* от источника выброса

*C* = *S*1*C*M,

где *S*1 — безразмерная величина, которая зависит от  :

при  

при   (6.7)

при  и *F*=1 

при  и *F*=2; 2,5 или3 

Значения приземных концентраций вредных веществ в атмосфере *С*у на расстоянии *у* по перпендикуляру к оси выброса находятся по выражению

*C*y*=S*2*C,*

в котором безразмерная величина *S*2 определяется по фор­муле

 (6.8)

Основываясь на данной методике расчета рассеива­ния вредных примесей, определяют высоту дымовой тру­бы.

Так как расчет производится для неблагоприятных метео­условий, выбранная высота дымовой трубы обеспечивает условия эксплуатации ТЭС, при кото­рых большую часть времени в году концентрации вред­ных примесей будуь ниже предельно допустимых норм.

При этом высота дымо­вой трубы должна выбираться после того, как использованы все возможности, связанные с уменьше­нием количества выбросов вредных веществ в атмосферу.

Минздравом СССР в 1966г. было введено требование об учете суммарного действия сернистого ангидрида и окислов азота.

С учетом этого требования формула для определения вы­соты дымовой трубы имеет вид:

 (6.9)  
ãäå *z —* число дымовых труб одинаковой высоты, уста­новленных на ТЭС;

Формулà (6.9) используåтся, если при строительстве ТЭС фоновая загазованность (зага­зованность атмосферы до начала строительства ТЭС) отсутствует.

Если же ТЭС сооружается в городах или вблизи промышленных предприятий, то при расчете высоты дымовых труб необходимо учитывать имеющуюся фоновую загазованность атмосферы.

В этом случае фор­мула для расчета высоты трубы âûãëÿäèò òàê:

 (6.10)  
 где *С*ф — фоновые концентрации примесей, мг/м3.

## 6.2. ТИПЫ ДЫМОВЫХ ТРУБ

Назначением дымовых труб издавна явля­лось удаление дымовых газов за счет разности плотностей холодного воздуха и горячих дымовых газов. Для этой цели применялись невысокие дымовые трубы из металла или кирпича.

Ïî ìåðå развитиÿ энергетики происходило укрупнение еди­ничной мощности агрегатов при одно­временном снижении качества топлива — повышении зольности и содержания серы.

Это привело к необходи­мости использования дымовых труб для достижения новых целей — рассеивания вредных примесей в атмосферном воздухе для сни­жения их концентраций до необходимого уровня. Для этого потребовались трубы большой высоты — 100,200,300 м и более.

Новым решением в ñтроительствå высоких дымовых труб явилось применение монолитных железо­бетонных стволов, выдерживающих высокие ветровые и весовые нагрузки. Однако железобетон – эффектив­ный материал в отношении механической прочности,- оказался не способным противостоять воздей­ствию сернистых соединений, влаги и повышенной тем­пературы дымовых газов.

Поэтому возникла необходи­мость создания второй, внутренней оболочки, ограждающей поверхностü ñòâîëà òðóáû îò агрессивных дымовых газов при высокой температуре.

Внутренняя поверхность железобетонного ствола тру­бы покрывается изоляцией — эпоксидным лаком и стек­лотканью. Футеровка выполняется из красного и кисло­тоупорного кирпича, прямого или лекального, на ñïåöèàëüíîé диабазовой или андезитовой замазке. Футеровка опирается на консоли несущего ствола, выполняемые через 30—50 м.

На верхнем обрезе трубы устанавливает­ся чугунный колпак. Для уста­новки на трубе светооградительных огней через каждые 15 или 30м по высоте трубы предусматри­ваются светофорные площадки. Для их обслуживания устанавливают лестницы с ограждением. Предусматривается система грозозащиты. Трубу окра­шивают полосами красного цвета шириной 2; 2,5м с интервалами по высоте 15м.

Основным требованием, предъявляемым к дымовым трубам, является высокая надежность: в течение всего срока эксплуатации электростан­ции (30—50 лет) труба должна работать без ремонта.

Однако опыт эксплуатации ряда труб во всем мирей показал, что это условие не выдерживается. На некоторых железобетонных тру­бах наблюдается проникновение агрессивных газов через неплотности футеровки с конденсацией паров и проникновением жидкости через бетонный ствол наружу, приводящим к разрушению трубы.

Важными принципами повышения надежно­сти дымовой трубы являются:

* ликвидация избыточных статических давлений
* разделение функций газоотводящего и несущего ствола.

Газоотводящий ствол должен ограждать поток дымовых газов и про­тивостоять воздействию высоких температур и агрессивных компонентов на несущий ствол.

Несущая конструкция воспри­нимает ветровые и весовые нагрузки, которая для высоких дымовых труб достигает âåñüìà больших значений.

Ïрижимнàÿ футеровкà не обеспечивает достаточной надежности труб, особенно при агрессив­ных дымовых газах.

Для четкого разделения функций между ограждающим и несущим стволами вы­полняют воздушный зазор 150—200 мм. В этом зазоре обеспечивают цирку­ляция воздуха для выво­да просачивающихся че­рез футеровку агрессив­ных газов и жидкостей**.**

Воздух подают из атмосферы и подогре­вают в калорифере до температуры 50—90 °С. Для нагрева используют па­р из отбора турбины. Вентилятор установлен под газоотводящим кана­лом трубы и направляет

воздух в воздушный канал (прослойку) трубы. В воçдушном канале по всей высоте трубы создается давле­ние воздуха более высокое, чем в газоотводящем кана­ле, что препятствует проникновению газов в воздушный канал и железобетонную оболочку.

Температура воздуха в зазоре должна быть такой, чтобы из условий трещиностойкости кислотоупорной фу­теровки разность температур между внутренней и на­ружной поверхностями не превышала 50 °С, а внутрен­няя поверхность бетона имела бы температуру не более 100 °С. Из этих условий температура подогрева воздуха должна меняться от 80 °С зимой до 50 °С летом при тем­пературе уходящих газов 130 °С.

Одноствольные дымовые трубы высокой надежности выполняются по типу «труба в трубе» с разделенными потоками и значительным зазором между дымоотводящим и несущим стволами, позволяющим свободное движение людей и проведение необходимых ремонтных работ.

Для ТЭС с набором большого количества разнотип­ного паро- и теплогенерирующего оборудования, особен­но на теплоэлектроцентралях, получили применение мно­гоствольные трубы, в которых внутри железобетонной оболочки устанавливается несколько (три-четы­ре) металлических стволов цилиндрической формы.

Смысл многоствольной дымовой трубы состоит в том, что каждый газоотводящий ствол может рас­сматриваться как самостоя­тельная труба, которую можно отключать и ремон­тировать независимо от дру­гих. При этом условия об­служивания и ремонта ока­зываются значительно луч­шими, чем для отдельно стоящих труб. Несущий же ствол является достаточно надежным, так как дымовые газы на него не воздейству­ют.

По мощности дымового факела, определяющего высоту его подъема, и стоимости многоствольные тру­бы не сильно отличаются от единой одноствольной трубы.

## 6.3. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЫМОВЫХ ТРУБ

Высотные дымовые трубы являются дорогостоящим элементом электростанции, поэтому оптимальный выбор их основных характеристик позволяет существенно со­кратить затраты на их сооружение.

Основной задачей оптимизации расчетов дымовых труб является определение скорости газа в стволе и вы­соты трубы.

Скорость газа*,* **с одной стороны**, определяет попе­речное сечение и диаметр устья трубы и, следовательно, стоимость трубы,

**а с другой** — гидравлическое сопротивление, связанное с расходом энергии на пе­ремещение газа.

С увеличением скорости движения га­зов в стволе уменьшаются диаметр трубы и ее высота, а следовательно, и стоимость трубы, но увеличиваются гидравлическое сопротивление и расход энергии на пере­мещение газа.

Стоимость дымовой трубы зависит от ее типа и конструктивной схемы. С этой точки зрения можно вы­делить две группы труб:

* трубы с кирпичной футеровкой без вентилируемого зазора и с непроходным (малых размеров) вентилируе­мым зазором;
* трубы с газоотводящими стволами, отделенными от несущей железобетонной оболочки проходным простран­ством.

Стоимость дымовых труб определяется как сумма затрат на их основные элементы.

Для дымовых труб первой группы выделяются два основных элемента:

* фундамент,
* железобетонная оболоч­ка вместе с футеровкой и теплоизоляцией, рассматривае­мая как единая конструкция, выполненная по-разному в зависимости от температуры газов.

Стоимость фундамента зависит от характеристики грунта, скоростного напора ветра и стоимости цемента, в то время как стоимость ствола зависит от температуры уходящих газов.

Трубы второй группы могут быть как одноствольны­ми, так и многоствольными. В качестве материала газоотводящих стволов в настоящее время используются углеродистая и низколегированная сталь, кремнебетон.

Для дымовых труб этой группы выделяются три основных элемента:

* фундамент;
* железобетонная оболоч­ка;
* газоотводящий ствол с теплоизоляцией.

Из затрат на эти элементы и складывается стоимость трубы.

В зависимости от высоты трубы, выбираемой из санитарно-гигиенических предпосылок, оптималь­ные технико-экономические скорости составляют:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Высота трубы, м | 150—180 | 250 | 330 | 360 | 420 |
| Оптимальная скорость, м/с | 20—25 | 25—30 | 30—37 | 35—40 | 40—45 |

## 6.4. ВЫБОР ЧИСЛА ДЫМОВЫХ ТРУБ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ПОДКЛЮЧАЕМЫЕ МОЩНОСТИ

Из формулы (6.9) следует, что для ТЭС с известным выбросом загрязнителей и объемом отводимых газов при прочих равных условиях высота труб возрастает пропорцио­нально корню шестой степени из числа установленных труб.

Так, для ГРЭС с восемью блоками по 300 МВт еще недавно типовым решением считалась установка четырех труб (одна труба на два блока). Сокращение числа труб до двух приводит к уменьшению требуемой высоты на 12,3%, а до одной — на 26%. Такое уменьшение высоты трубы заметно снижает расход строительных материалов и стоимость трубы.

Поэтому, с точки зрения снижения капитальных затрат на сооружение труб было бы желательным выполнение на ТЭС одной трубы.

В то же время уменьшение числа труб приводит к увеличению длины газоходов от котла до дымовой трубы. В основном увеличиваются длины газоходов по продольной оси электростанции, зависящие от расстоя­ния между блоками. Этот фактор противодействует уменьшению числа дымовых труб, поэтому должен учи­тываться при технико-экономическом сравнении вариан­тов с разным числом дымовых труб.

Наиболее важным вопросом, ограничивающим умень­шение числа труб на ТЭС, является надежность всей системы газоходов и дымовых труб на протяжении длительного периода - на протяжении всего срока существования ТЭЦ: 30—40 лет.

Вопрос о предельной мощности ТЭС по условиям защиты биосферы от воздействия вредных газообразных ингредиентов необходимо решать с учетом имею­щегося топлива, фоновой загазованности места соору­жения электростанций, возможности снижения вредных выбросов путем очистки топлива или уходящих газов, наконец возможности и целесообразности возведения дымовой трубы необходимой по условиям рассеяния вредных выбросов высоты.

В настоящее время освоенными являются трубы вы­сотой 320—360 м, осваивается строительство труб вы­сотой 420 м. С учетом этих высот на сегодняшний день для тепловых электростанций, работающих на канско-ачинских углях, предельной мощностью с точки зрения защиты биосферы, является мощность 7000 МВт.

Для ТЭЦ с котлами производительностью до 480т/ч одна одноствольная труба высокой на­дежности (с проходным зазором между несущим и ограждающим стволами) применяется при четырех энер­гетических и двух-трех пиковых котлах.

В слу­чаях, выходящих по мощностям за указанные пределы, установка одной дымовой трубы на ТЭС может быть принята при условии применения многоствольной кон­струкции.