# Лекция 8

## 5.3. ПОДЪЕМ ДЫМОВОГО ФАКЕЛА НАД УСТЬЕМ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

Эффективная высота дымовой трубы (высота расположения точечного источника в расчете кон­центраций вредных примесей, исходя из двухэтапного метода решения этой задачи) складывается из геомет­рической высоты трубы *h* и подъема дымового облака над ее устьем Δ*h*

В свою очередь подъем дымового облака над устьем складывается из двух состав­ляющих (рис.5.3):
 Δ*h* = Δ*h*г + Δ*h*т

где Δ*h*г - подъем за счет кинетической энергии выте­кающей вверх струи
 (гидродинамический подъем);

 Δ*h*т - подъем за счет разности плотностей окружающей среды и дымового облака
 (тепловой подъем).



*Рис. 5.3.* Расчетная схема для опреде­ления подъема факела над устьем ды­мовых труб:
 *а* - в сносящем ветровом потоке; *б* - при неподвижной атмосфере (затопленная струя)

Гидродинамический подъем струи в чистом виде име­ет место в том случае, когда температура выбрасывае­мых газов и окружающей атмосферы одинакова. Такой случай может иметь место для вентиляционных труб.

Для нагретых газов тепловых электростанций гидродинами­ческий подъем является частью общего подъема факела.

Гидродинамический подъем факела можно оценить, используя формулу

 , (5.8)
где  - секундный выброс дымовых газов;
 ,

 *m, a, b* – характеристики струи, определяемые экспериментально;
 как правило: *m* = 0,2; *a* = 0,15; *b* = 0,96;
 *β* - угол наклона оси облака к горизонту; как условие окончания подъема -
 обыч­но считают подъем закончившимся, когда тангенс его становится малым,
 на­пример tg *β* = 0,10 или сам угол мал: *β* = 10°.

Тепловой подъем газов, обусловленный разностью плотностей выходящих газов и окружающего воздуха, определяют из условия равновесия элемента дымового факела толщи­ной *dx* (рис.5.4).



*Рис.5.4.* Расчетная схема для определения теплового всплытия фа­кела
 с нулевым избыточным скоростным импульсом в изотропном турбулентном потоке.

На этот слой действуют:

* подъемная сила, равная разности масс окружающего воздуха и дымового облака в объеме диска,
* сила лобового сопротивления,
* сила инерции элемента, движу­щегося вверх с переменной скоростью,
* сила внутреннего трения рассматриваемого элемента о прилегающие слои дымового облака,
* силы инерции присоединяемых масс холодного воздуха, движущегося горизонтально.

Оценив перечисленные силы с помощью зависимостей, извесных из физики, термо- и аэродинамики, после некоторых упрощающих допущений и простых математических преобразований можно получить выражение для расчета теплового подъема

  (5.9)

где *Q*г – количество теплоты в удаляемых газах по отношению к окружающей среде, кДж ;

 

 *ε*у – интенсивность турбулентности в горизонтальной плоскости (вдоль оси 0у);

 ;

 Здесь *с*г – теплоемкость газов,

 ,

 с – коэффициент лобового сопротивления рассматриваемого диска.

Из выражения (5.9) следует, что тепловой подъем дымового факела определяется тремя факторами: общей тепловой мощностью источника, скоростью ветра и сте­пенью турбулентности атмосферы в горизонтальном на­правлении*.*

При расчете теплового подъема факела, см. формулу (5.9), источник выброса характеризует только одна ве­личина — тепловой выброс. При этом безразлично, за счет чего получено то или иное значение теплового вы­броса — за счет большой разности температур газа и воздуха или при умеренной разности температур за счет больших объемов газа.

На тепловой подъем в отдельности не влияют такие факторы, как диаметр устья трубы и скорость выхода газов

Из атмосферных факторов велико влияние скорости ветра. При увеличении скорости ветра резко падает теп­ловой подъем. Существенно также влияние интенсивно­сти турбулентности в горизонтальной плоскости: по мере ее увеличения, т. е. увеличения угла раскрытия факела в горизонтальной плоскости, происходит уменьшение теплового подъема.

В реальных условиях гидродинамический и тепловой подъемы факела проявляются одновременно, поэтому их разделение достаточно условно. В то же время из выра­жений для определения траекторий подъема дымового факела (как гидродинамической, так и тепловой состав­ляющих) видно, что для рассмотренного простейшего случая эти траектории представляют собой параболы.

В реальных условиях, где имеется целый ряд фак­торов, неучтенных при выводе выражения (5.9) - например, неравномерность профиля ветра по высоте, существование градиента температур по высоте, теплообмен с окружающей средой и т. д.,- траекторию движения факела в атмосфере при его подъеме можно представить в виде

 *z* = *k* *x*n, (5.10)

где  - коэффициент пропорциональности, который получен
 сложением выражении для гидродинамической и тепловой составляющих подъ­ема.

Коэффициенты *k*г и *k*т характеризуют относительное влияние гидродинамической и тепловой составляющих подъема в общем подъеме факела. Эти коэффициенты можно определить по данным натурных экспериментов при замерах положения дымового факела, параметров выброса из дымовых труб и метеопараметров.

Эксперименты сложны и проводятся с исполь­зованием самолетов и вертолетов, стереофотограмметрической съемки, позволяющей с высокой точностью определять положение факела в атмосфере.

На основании полученных в данных принимают *k*г = 0,42, и *k*т *=* 0,3.

В зави­симости от метеорологических условий факел приобретает определенную форму.

С точки зрения поведения дымового облака можно указать пять основных вариантов строения атмосферы и соответствующих форм дымового факела (рис.5.5).



 *Рис.5.5.* Распространение дымового факела в стратифицированной атмосфере.

**1.Волнообразная** форма дыма наблюдается при сверхадиабатическом вертикальном градиенте температуры и сви­детельствует о неустойчивой атмосфере. Распространение дыма но­сит волновой характер с большим углом раскрытия и большой степенью турбулентности.

Касание дымовым облаком Земли и точка максимальной концентрации значительно приближаются к ды­мовой трубе, а концентрация достигает наивысшего значения. Такая температурная стратификация обычно наблюдается днем при хо­рошей, ясной погоде, когда Земля интенсивно нагревается Солнцем.

**2.Конусообразная.** Турбулентность атмосферы близка к изотропной. Форма дымового облака наблюдается при градиенте температуры между сухоадиабатическим и изотермическим. Дымовое облако имеет форму конуса с гори­зонтальной осью. Струя касается Земли на несколько большем рас­стоянии, чем в первом случае. Такая структура атмосферы более устойчива, чем в предыдущем случае, и характерна для облачной и ветреной погоды как днем, так и ночью. Наиболее часто встре­чается при влажном климате.

**3.Веерообразная** форма дымового облака наблю­дается при инверсии или при температурных градиентах, близких г изотермическим. Дым очень мало рассеивается в вертикальном направлении - рассеивание идет в основном в горизон­тальном направлении (веерообразно). Касания Земли дымовым фа­келом либо не происходит, либо происходит на большом расстоянии от трубы. Максимальная концентрация вредностей на Земле невелика, и точка максимума находится далеко от источника вред­ностей

Однако такая структура атмосферы опасна при неорганизован­ном выбросе продуктов сгорания в нижние слои атмосферы (на­пример, от автотранспорта), так как вредности сохраняются в ниж­них слоях атмосферы и слабо поднимаются вверх. Такая структура атмосферы характерна для ночного времени, когда температура поверхности земли ниже температуры воздуха, ей благоприятст­вуют слабые ветры, чистое небо и снежный покров.

**4.Приподнятая** форма имеет место, когда в нижней части атмосферы имеет место инверсионная структура, а вверху — нормальная с отрицательным градиентом. Зона наи­больших концентраций находится на верхней границе инверсионно­го слоя. Такая форма может наблюдаться при заходе Солнца. По­добная структура атмосферы является наиболее благоприятной для распространения дыма, особенно для высоких труб, когда вредно­сти направляются в высокие слои атмосферы и практически не проникают к земной поверхности.

**5.Задымляющая.** Внизу располагается слой с нормальным отрицательным градиентом, а вверху—инверсионный слой. Такая структура атмосферы встречается утром, когда ночная инверсия рассеивается под действием солнечных лучей. Эта струк­тура атмосферы соответствует распространению дымового облака у земной поверхности, что наименее желательно.

Указанная структура наиболее опасна для низких дымовых труб, когда инверсионный слой располагается над их устьем. Кон­центрация вредностей оказывается повышенной, и дымовое облако располагается вблизи дымовой трубы.

*Таким образом, с точки зрения загазованности от выбросов из труб тепловых электростанций наиболее опасен первый тип атмос­феры со сверхадиабатическим градиентом.*

*Пятый тип строения атмосферы наиболее опасен для невысоких дымовых труб, когда инверсионный слой располагается ниже устья дымовой трубы.*