

Практическая работа № 5

РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ФАКЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ И РАССЕЙВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

В настоящее время нормативным документом по расчетам рассеивания является «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» ОНД-86. Эта методика лежит в основе автоматизированных расчетов при проектировании предприятий, а также при нормировании выбросов в атмосферу действующих предприятий и реконструируемых.

Степень опасности загрязнения атмосферного воздуха характеризуется наибольшим рассчитанным значением концентрации, соответствующим неблагоприятным метеорологическим условиям, в т.ч. опасной скорости ветра.

3.1. Элементы факельной системы

Скорость движения газа в факельной трубе независимо от колебаний нагрузки всегда должна быть больше скорости распространения пламени, но меньше некоторой предельной величины, при которой возможен отрыв пламени. На практике принимают, что пламя будет устойчивым при скорости газа на выходе из трубы, не превышающей 20—30% скорости звука.

3.1.1. Расчет диаметра факельной трубы

Расход сбрасываемого газа определяется по формуле:

$$G = 3600 \cdot \rho \cdot u \cdot S, \quad (3.1)$$

где G - расход газа, кг/ч;

ρ - плотность газа, кг/м³;

u - скорость газа на выходе из факельной трубы, м/с;

S - площадь поперечного сечения трубы, м².

Плотность газа равна

$$\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}, \quad (3.2)$$

где M - молекулярная масса газа, кг/кмоль;

P - абсолютное давление газа, Па;

T - температура, К;

R - универсальная газовая постоянная, равная 8314,8 Па·м³/(кмоль·К).

Скорость газа на выходе из факельной трубы принимается равной 20% скорости звука в этом же газе. В идеальном газе скорость звука может быть выражена формулой:

$$u_s = 91,5 \cdot \sqrt{k \cdot T / M}. \quad (3.3)$$

Тогда скорость газа:

$$u = 0,2 \cdot u_s = 18,3 \cdot \sqrt{k \cdot T / M}, \quad (3.4)$$

где k - показатель адиабаты ($k=C_p/C_v$).

Поперечное сечение факельной трубы

$$S = 0,785 \cdot D^2, \quad (3.5)$$

где D - диаметр факельной трубы, м.

После подстановки уравнений 3.2 – 3.5 в уравнение 3.1, получим:

$$D = 0,4 \cdot \left(\frac{T}{k \cdot M} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{G}{P} \right)^{0,5}. \quad (3.6)$$

Если расход газа задан G' , ($\text{м}^3/\text{ч}$), диаметр факельной трубы рассчитывают по уравнению:

$$D = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot G'^{0,5} \cdot \left(\frac{M}{k \cdot T} \right)^{0,25}. \quad (3.7)$$

Если сжигаются газы, не выделяющие дыма, расчетный диаметр можно уменьшить на 15%.

Длину факела L , м, рассчитывают по формуле:

$$L = 118 D. \quad (3.8)$$

3.1.2. Расчет высоты факельной трубы

Интенсивность теплоизлучения пламени определяется уравнением:

$$q = \frac{\psi \cdot Q}{4\pi \cdot l^2}, \quad (3.9)$$

где ψ - коэффициент светового излучения;

Q - количество тепла, выделяемого пламенем, МДж/ч;

l - расстояние от центра пламени, м, при котором интенсивность теплоизлучения снижается до безопасной величины $q = 5$ МДж/($\text{м}^2 \cdot \text{ч}$).

Коэффициент излучения ψ выражается эмпирическим уравнением:

$$\psi = 0,2 \cdot Q_H \cdot 26,9/900^{0,5}, \quad (3.10)$$

где Q_H - низшая теплота сгорания факельного газа, МДж/м³, определяемая по формуле:

$$Q_H = \left(\frac{1}{26,9} \right) \cdot \left(60M + 100 \right)$$

где M - молекулярная масса газа.

Для газовых смесей:

$$Q_H = \sum \left(y_i \cdot Q_{Hi} \right)$$

где y - мольная доля компонента i в смеси;

Q_{Hi} - низшая теплота сгорания компонента.

Количество тепла, выделяемого пламенем:

$$Q = G_{\text{фг}} \cdot Q_H, \quad \text{МДж/ч} \quad (3.11)$$

где $G_{\text{фг}}$ - расход факельного газа, м³/ч;

Q_H - низшая теплота сгорания факельного газа, МДж/м³.

Максимальную интенсивность теплоизлучения q_m определяют по формуле:

$$q_M = \frac{\psi \cdot Q}{4\pi \cdot l_1^2}, \quad (3.12)$$

где l_1 - расстояние от центра пламени до основания факельной трубы, м, (рис.3.1):

$$l_1 = \sqrt{H \cdot (H + L)}, \quad (3.13)$$

где H - высота факельной трубы, м.

Подставляя формулу (3.13) в формулу (3.12) и решая уравнение относительно H , получим

$$H = 0,5 \cdot \left[\left(\frac{\psi \cdot Q}{\epsilon \cdot q_M} \right)^{0,5} - L \right]^2, \quad (3.14)$$

Высота факельной трубы должна обеспечить безопасность радиационно-теплового воздействия на персонал. Максимальная величина q_M , которую может выдерживать персонал в течение некоторого промежутка времени, составляет 17 МДж/(м²·ч). Подставив эту величину в уравнение (3.14), получим

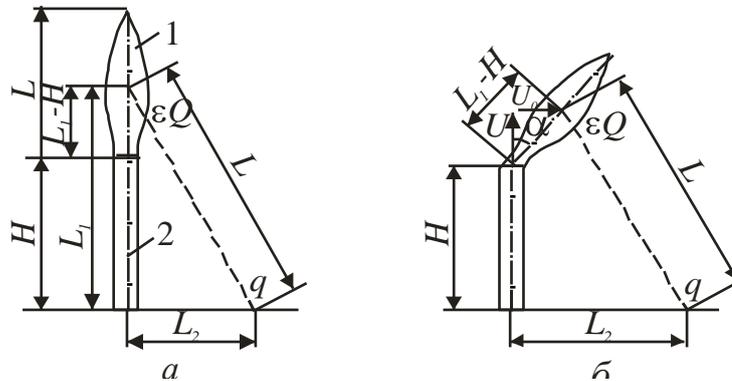


Рис. 3.1. Расположение факела в отсутствие ветра (а) и при наличии ветра (б).
Условные обозначения даны в тексте

$$H = 0,5 \cdot \left[\left(\frac{\psi \cdot Q}{\epsilon \cdot 17} \right)^{0,5} - L \right]^2, \quad (3.15)$$

Расстояние l_2 от основания факельной трубы до безопасной зоны (рис.3.1, а) можно вычислить как длину катета в прямоугольном треугольнике:

$$l_2 = \sqrt{l^2 - l_1^2} \quad \text{или} \quad l_2 = \sqrt{l^2 - H \cdot (H + L)},$$

Эта зависимость справедлива для случая, когда сброс газа производится в неподвижную атмосферу.

При ветре (рис. 3.1, б) пламя будет отклонено под углом α к оси трубы. Площадь у основания трубы, на которой интенсивность излучения будет выше допустимого предела, имеет форму эллипса. Таким образом, расстояние от факельной трубы до безопасной зоны увеличивается. Как следует из рисунка (3.1, б)

$$\operatorname{tg} \alpha = u_B / u,$$

где u_B - скорость ветра, м/с;

u - скорость выброса газов, м/с;

α - угол наклона пламени.

$$l_2 = \frac{p}{\rho} - \left[H + \left(\frac{H}{\cos \alpha} \right)^2 \right]^{0,5} + \left(\frac{H}{\sin \alpha} \right)$$

Пример 3.1. Определить размеры факельной трубы для разгрузки предохранительных клапанов и безопасные расстояния.

Исходные данные. Давление газа в сбросной трубе $P = 100$ кПа, температура окружающего воздуха $t = 21$ °С.

Таблица 3.1

Характеристика выбросов

Газ	Молекулярная масса	Расход мольный, G', моль/ч	Расход массовый, G, кг/ч
Углеводороды	36,5	4415	161400
Водяной пар	18,0	1220	22400
Сумма	32,5	5635	183400

Таблица 3.2

Свойства сбросного газа

Газ	Y _i	C _v , кДж/(моль·К)	C _p	Y _i · C _v	Y _i · C _p	Q _H	Y _i · Q _H
Углеводороды	0,783	41,6	54,4	36,0	42,5	71,0	55,5
Водяной пар	0,217	25,0	33,3	5,5	7,2	0,0	0,0
Сумма	1	-	-	41,5	49,7	-	55,5

Решение

1. Показатель адиабаты

$$k = \frac{\sum Y_i \cdot c_p}{\sum Y_i \cdot c_v}$$

$$k = 49,7 / 41,5 = 1,198.$$

2. Скорость звука в сбрасываемом газе

$$u_3 = 91,5 \cdot \sqrt{\frac{1,198 \cdot (1 + 273)}{32,5}} = 301,2 \text{ м/с}.$$

3. Плотность сбрасываемого газа

$$\rho = \frac{10^4 \cdot 32,5}{8314,8 \cdot 294} = 1,33 \text{ кг/м}^3.$$

4. Скорость газа на выходе принимаем равной 20% скорости звука

$$u = 0,2 \cdot 301,2 = 60,24 \text{ м/с}.$$

5. Площадь поперечного сечения факельной трубы

$$S = \frac{183400}{3600 \cdot 1,33 \cdot 60,24} = 0,636 \text{ м}^2.$$

6. Диаметр факельной трубы

$$D = \sqrt{\frac{0,636}{0,785}} = 0,81 \text{ м}.$$

7. Общее тепловыделение

$$Q = \frac{183400}{1,33} \cdot 55,5 = 7,65 \cdot 10^6 \text{ МДж/ч.}$$

8. Коэффициент излучения ($Q_H = 55,5 \text{ МДж/м}^3$)

$$\psi = 0,2 \cdot \left(\frac{55,5 \cdot 26,9}{900} \right)^{0,5} = 0,258.$$

9. Предельное безопасное расстояние от центра пламени ($q = 5 \text{ МДж/(м}^2 \cdot \text{ч)}$) из уравнения (3.9)

$$l = \sqrt{\frac{\psi \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot q}} = \sqrt{\frac{0,258 \cdot 7,65 \cdot 10^6}{4 \cdot 3,14 \cdot 5}} = 177,2 \text{ м.}$$

10. Длина пламени

$$L = 118 \cdot 0,81 = 96 \text{ м.}$$

11. Высота факельной трубы по (3.15)

$$H = 0,5 \cdot \left[\left(96^2 + \frac{0,258 \cdot 7,65 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 17} \right)^{0,5} - 96 \right] = 59,5 \text{ м.}$$

12. Расстояние l_2 от основания факельной трубы до безопасной зоны (рис.3.1,а)

$$l_2 = \sqrt{l^2 - H(H + L)} = \sqrt{177,2^2 - 59,5(9,5 + 96)} = 149 \text{ м.}$$

Таким образом, оборудование, требующее постоянного внимания со стороны обслуживающего персонала, должно располагаться за пределами зоны радиусом 149 м.