

## АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ С ПРИЗЕМНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Приведены результаты исследований зависимости приземных концентраций загрязняющих воздушную среду веществ от температуры промышленных (вентиляционных) выбросов. Определен характер нелинейной взаимосвязи исследуемых величин.

Приведені результати досліджень залежності приземних концентрацій забруднюючих повітряне середовище речовин від температури промислових (вентиляційних) викидів. Визначений характер нелінійного взаємозв'язку досліджуваних величин.

The results of researches of dependence of the ground concentrations are resulted contaminating the air environment of matters from the temperature of industrial (vent) extrass.

Character of nonlinear intercommunication of the probed sizes is certain.

**Вступление.** В основном существуют три основных источника загрязнения атмосферы: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Доля каждого из этих источников в общем загрязнении воздуха сильно различается в зависимости от места. Сейчас общепризнано, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство. Источники загрязнений- теплоэлектростанции, которые вместе с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ, металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух окислы азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка; химические и цементные заводы. Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов.

В тоже время с дымовыми газами выбрасываются тысячи Гкал теплоты. В настоящее время активно разрабатывают способы утилизации этого тепла для нагрева приточного воздуха и отопления помещений [1, 2].

Утилизация теплоты вентиляционных выбросов может осуществляться следующими способами:

- рециркуляцией части вытяжного воздуха;
- применением рекуперативных теплообменников-утилизаторов;
- применением регенеративных теплообменников-утилизаторов;
- применением двух рекуперативных теплообменников, использующих промежуточный теплоноситель;
- применением теплопередающих труб.

Наиболее глубокое использование теплоты сжигания топлива осуществляется в теплоэнергетических котлах. Дымовые газы после различного рода печей имеют температуру 130—190°C с использованием экономайзера, а без него 300-500°C и выше. В этом случае утилизация теплоты (и охлаждение газов) просто обязательна, хотя бы для ограничения теплового загрязнения окружающей среды.

Целью статьи является исследование взаимосвязи между температурой газовых выбросов и величинами приземных концентраций загрязняющих веществ, которые выбрасываются в атмосферу.

Изложение основного материала исследований. В соответствии с методикой расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД 86) [2], максимальное значение приземной концентрации вредного вещества  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>) при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии  $x_m$  (м) от источника и определяется по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;  $M$  – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;  $m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $H$  – высота источника выброса над уровнем земли (для наземных источников при расчете принимается  $H = 2$  м), м;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;  $\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_g$  и температурой окружающего атмосферного воздуха

$T_b$ , 0С;  $V_1$ , м<sup>3</sup>/с – расход газовой смеси.

Значение мощности выброса ( $M$ , г/с) и расходов газовой смеси ( $V_1$ , м<sup>3</sup>/с) при проектировании предприятий определяется расчетом в технологической части проекта или принимается в соответствии с существующими нормативами.

При определении значения  $\Delta T$  (0С) следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха  $T_b$  (0С), равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года (согласно СНиП 2.01.01-82), а температуру выбрасываемой в атмосферу газовой смеси  $T_g$  (0С) – по действующим для данного производства технологическим нормативам.

В развитие результатов [1] попытаемся составить схему возможных вариантов расчета взаимосвязи  $c_m$  ( $\Delta T$ ). Методика [2] рекомендует 3 варианта расчета величины  $c_m$ : условно общий случай ( $C_m^I$ ), холодные выбросы ( $C_m^{II}$ ) и предельно малые опасные скорости ветра ( $C_m^{III}$ ), что в свою очередь определяется значениями вспомогательных величин  $f, f_e, v_m, v_m'$ .

Для удобства введем условное обозначение  $C_0 = A \cdot M \cdot F \cdot \eta$ , тогда рекомендуемые формулы для определения  $C_m$  примут вид:

$$C_m^I = \frac{C_0 \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}} \quad (\text{общий случай}), \quad C_m^{II} = \frac{C_0 \cdot n}{H^{4/3}} \cdot K \quad (\text{холодные выбросы}), \text{здесь}$$

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1 \sqrt{\omega_0 V_1}}, \quad C_m^{III} = \frac{C_0 \cdot m'}{H^{7/3}} \quad (\text{предельно малые опасные скорости ветра}).$$

Рассмотрим эти случаи по порядку, следуя логике [2]:

1.1.  $f \geq 100$ ,  $V'_m \geq 0,5$  - применяем формулу  $C_m^{II}$  с тремя вариантами для определения  $n$  [2] ( т.е. случаи 1.1.1-1.1.3).

1.2.  $f \geq 100$ ,  $V'_m \leq 0,5$  - применяем формулу  $C_m^{III}$  с двумя вариантами для нахождения  $m'$  [2] (случай 1.2.1.-1.2.2.).

2.1.  $f < 100$ ,  $f < f_e$ ,  $m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}$ ,  $n = 1$  при  $v_m \geq 2$ ;  $n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13$  при  $0,5 \leq v_m < 2$ , применяем формулу  $C_m^I$ ,  $n = 4,4 v_m$  при  $v_m < 0,5$ , применяем формулу  $C_m^{III}$ , т.е случаи (2.1.1-2.1.3).

2.2.  $f < 100$ ,  $f > f_e$ ,  $m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f_e} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_e}}$ ,  $n = 1$  при  $v_m \geq 2$ ;  $n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13$  при  $0,5 \leq v_m < 2$ ; применяем формулу  $C_m^I$ ;  $n = 4,4 v_m$  при  $v_m < 0,5$ , применяем формулу  $C_m^{III}$ , т.е случаи (2.2.1-2.2.3).

С учетом всех подслучаев имеем 11 вариантов определения взаимосвязи  $C_m$  и  $\Delta T$ . Для дальнейшего достижения цели эти варианты необходимо рассмотреть подробно с учетом имеющихся ограничений.

Следуя логике изложения, вариант (1.1.1) имеет следующее представление:

$$f \geq 100, \quad V'_m \geq 0,5, \quad V'_m > 2, \quad n=1, \quad C_m = C_m^I, \quad \text{следовательно} \quad V'_m = \frac{1,3 \cdot \omega_0 \cdot D}{H} \geq 2,$$

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \Delta T} \geq 100.$$

Некоторые выводы. В рассмотренном случае (холодных выбросов) величина максимальной приземной концентрации напрямую не связана со значением разности температуры выбросов и температуры наружного воздуха  $\Delta T$ . Значение  $C_m$  не может превосходить величины  $\frac{C_0}{1,538 \cdot 2\pi \cdot H^{7/3}} \sim 0,10 \frac{C_0}{H^{7/3}}$  для заданных ограничений.

Вариант (1.1.2) имеет следующую систему ограничений и функций:

$$f \geq 100, \quad V'_m \geq 0,5 \quad \text{или} \quad 0,5 \leq V'_m \leq 2, \quad n = 0,532 v'_m{}^2 - 2,13 v'_m + 3,13,$$

$$C_m = \frac{C_0 \cdot n \cdot K}{H^{4/3}} = C_0 [0,532 \cdot (1,3 \frac{\omega_0 D}{H})^2 - 2,13 \cdot (1,3 \frac{\omega_0 D}{H}) + 3,13] \cdot \frac{D}{2\pi D^2 \omega_0 H^{4/3}}, 0,5 \leq \frac{1,3 \omega_0 D}{H} \leq 2.$$

Здесь принципиально имеем тот же случай, только в силу того, что величина  $n$  изменяется в диапазоне от 1 до примерно 2,2 ( так как  $0,5 \leq V'_m = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H} \leq 2$ ) значения  $C_m$  будут выше чем в предыдущем случае.

Случай 1.1.3. разбирается аналогично, только здесь происходит падение величины  $C_m$  при  $V'_m \rightarrow 0$ . Максимальное значение концентрации  $C_m$  достигается при  $V'_m = 0,5$ .

Таким образом в случае  $f \geq 100$  и  $V'_m \geq 0,5$  значение  $C_m$  явно не зависит от величины  $\Delta T$ .

Не очевидно, что и в случаях 1.2.1, 1.2.2 имеет место та же ситуация.

$$\text{Случай 1.2.2. } f \geq 100, V'_m < 100, m' = 0,9, C_m = C_m^{III} = \frac{C_o m'}{H^{7/3}} = \frac{C_o \cdot 0,9}{H^{7/3}}.$$

Как видно, прямой зависимости максимальной приземной концентрации от разности температур не наблюдается.

$$\text{Случай 1.2.1. } f < 100, V_m < 0,5, C_m = C_m^{III} = \frac{C_o \cdot 2,86m}{H^{7/3}}.$$

Этот случай разбивается на 2 подслучая: 1.2.1.а -  $f \leq f_e$  и 1.2.1.б-  $f \geq f_e$ .

Во втором случае 1.2.1.б  $m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f_e} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_e}}$ . В этом подслучае нет связи

между  $C_m$  и  $\Delta T$ , т.к.  $f_e$  от  $\Delta T$  не зависит и  $C_m^{III}$  так же.

Для случая 1.2.1.а имеем:

$$C_m = \frac{C_o \cdot m'}{H^{7/3}}, \quad m' = 2,86m, \quad f \leq f_e, \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}},$$

$$C_m = \frac{C_o \cdot 2,86}{(0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}) H^{7/3}}, \quad f_e < f < 100, V_m < 0,5, f = 1000 \frac{\omega_o^2 D}{H^2 \Delta T}.$$

В этом варианте может наблюдаться увеличение значения  $C_m$  при росте величины  $\Delta T$  ( $C_m$  находится в обратной зависимости от  $f$ , а  $f$ , в свою, очередь в обратно пропорциональной).

**Выводы.** Таким образом, проведенный анализ показал неоднозначную взаимосвязь рассматриваемых величин  $C_m$  и  $\Delta T$ . В зависимости от исходных данных может отсутствовать явная функциональная взаимосвязь, может быть прямая или обратная связь этих величин. В случаях, которые не рассмотрены предполагается наличие экстремума функции  $C_m$  ( $\Delta T$ ) при принятых ограничениях. При детальном рассмотрении формулы (1) нельзя однозначно говорить о том, что с увеличением  $\Delta T$  величина  $C_m$  падает (т.к.  $\Delta T$  находится в знаменателе выражения). С практической точки зрения необходимо обеспечить диапазон значений  $\Delta T$  при котором приземные концентрации вредных веществ будут наименьшими.

#### Список литературы

1. Полищук С.З., Кушнир Е.Г., Полищук А.В., Петровций О.В., Троценко А.В., Утилизация теплоты газовых выбросов и качество воздушной среды.// Неделя эколога – 2015, Международный научный симпозиум, 13-16 апреля 2015.: Тез. док.- Днепродзержинск, 2015.- С. 222-223.
2. «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий». Гидрометеоздат: Л.: 1987, ОНД 86. - 95 с.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Зберовським О.В.  
Поступила в редакцию 16.01.15*