

	Министерство образования и науки Республики Бурятия
	ГБПОУ «Гусиноозерский энергетический техникум»
	Учебно-методическая документация
СК-УМД-МР-2.4.-15	2.4. методическая и научно- исследовательская деятельность
	Методическая разработка

Рассмотрено на заседании  
 Методического совета  
 Протокол № \_\_\_\_\_  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015г.  
 \_\_\_\_\_ И.И. Молчанова

УТВЕРЖДАЮ  
 Заместитель директора по УР/  
 ответственный за качество  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015г.  
 \_\_\_\_\_ Г.М.Башарова

Методическое пособие  
 по дисциплине: «Экологические основы природопользования»  
 для студентов 3 курса специальности  
 13.02.01 «Тепловые электрические станции»

**Расчет содержания вредных веществ в дымовых газах.**

## Содержание

- 1 Введение
- 2 Токсические вещества, загрязняющие атмосферный воздух, при сжигании органического топлива.
- 3 Задание
- 4 Методические указания к решению задачи
- 5 Заключение
- 6 Список использованной литературы
- 7 Приложение

## Введение

Освоение важного и интересного предмета «Экологические основы природопользования» невозможно без решения различных задач.

Настоящее пособие содержит:

- Характеристику вредных и токсичных веществ образующихся при сгорании органического топлива
- Влияние этих веществ на окружающую природную среду и здоровье человека
- Задание ( 10 вариантов ) в котором необходимо рассчитать секундный выброс золы, SO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub>
- Методические указания к решению задачи
- Приложение в котором приведены необходимые для решения задачи справочные данные

Решение задачи т. е. расчет количества вредных веществ образующихся при сгорании топлива является важным элементом изучения курса «Экологические основы природопользования» поскольку позволяет лучше усвоить и систематизировать теоретический материал ,дает возможность подготовить студента к выполнению дипломного проекта в разделе «Природоохранные мероприятия»

## **Токсичные вещества, загрязняющие атмосферный воздух при сжигании органического топлива.**

При сжигании органического топлива на тепловых электрических станциях и котельных в продуктах сгорания содержится вредные вещества, обладающие различной степенью токсичности. По степени взаимодействия на организм человека они делятся на пять классов: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные, малоопасные и безопасные. К безопасным составляющим продуктов сгорания относятся вода, углекислота, кислород, азот и инертные газы. Остальные ингредиенты являются вредными. Их в зависимости от происхождения можно разделить на несколько групп.

В первой группе относятся вредные примеси, образование которых определяется в основном составе топлива и мало зависят от технологии его сжигания (диоксид серы  $SO_2$ , летучая зола соединения ванадия  $V_2O_5$ ).

Ко второй группе относятся вредные примеси, образование которых зависят как от состава топлива, так и от технологических, конструкторских и режимных факторов сжигания топлива (оксид азота  $NO_x$ , оксид углерода  $CO$ , сероводород  $H_2S$ , канцерогенные вещества).

К третьей группе относятся вредные примеси, образование которых обусловлено побочными источниками: пыление угольных складов золоотвалов, выделение паров углеводородов в системах слива мазута, выбросы тонких фракций угольной пыли в разомкнутых системах пылеприготовления.

Если содержание в топочных газах вредных примесей первой группы может быть с достаточной точностью определено на основании состава топлива, то выбросы примесей второй группы в значительной степени зависят от различных факторов и могут быть приблизительно оценены только с привлечением экспериментальных данных. Количество же примесей третьей группы по состоянию с первыми двумя сравнительно невелико и трудно поддается учету.

Время существования газообразных вредных выбросов ТЭС в окружающей среде составляет от нескольких часов до нескольких месяцев. Аэрозольные ингредиенты, оседая на поверхности Земли, могут накапливаться в значительных количествах. Наличие в

атмосфере, литосфере и гидросфере вредных веществ приводит к образованию смогов, эрозии почвы, уничтожению флоры и фауны, вызывает различные (в том числе и раковые) заболевания человека.

Рассмотрим наиболее распространенные вредные ингредиенты продукты сгорания органических веществ.

Оксид углерода (NO) представляет собой бесцветный газ. Яд! Оказывает сильное воздействие на кровь и нервную систему.

Оксид углерода (CO) – бесцветный газ с очень слабым запахом. Горит синеватым пламенем. При попадании в организм человека ухудшает снабжение тканей кислородом, за счет связывания с гемоглобином, в результате возможно отравление.

Сажа (копоть) имеет сложную углеводородную структуру, более чем на 90% состоящую из атомов углерода. При медленном разложении выдает бенз(а)пирен. При попадании в организм сажистые частицы могут вызвать злокачественные опухоли.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) встречаются в продуктах сгорания углеводородных топлив. Наиболее распространенным является бенз(а)пирен, пирен, антрацен, перилен. Наиболее опасные из ПАУ - бенз(а)пирен.

Бенз(а)пирен ( $C_{20}H_{12}$ ) – твердое кристаллическое вещество желтого цвета. В атмосферном воздухе под действием ультрафиолетового излучения происходит разрушение структуры бенз(а)пирен, однако по сравнению с другими ПАУ он наиболее устойчив. Является одним из наиболее опасных канцерогенных (вызывает раковые заболевания) веществ.

Пентаоксид ванадия ( $V_2O_5$ ) – красно-желтый порошок. Яд! Воздействие на организм разнообразное: вызывает изменения в кровообращении, органах дыхания, нервной системе, обмене веществ, а также аллергическое воспаление кожи.

Серный ангидрид ( $SO_3$ ) – бесцветная жидкость. Во влажном воздухе образуется туман серной кислоты, раздражает дыхательные пути.

Сероводород ( $H_2S$ ) – бесцветный газ с сильным характерным запахом. Сильный яд! Раздражает дыхательные пути и глаза, отравляет нервную систему.

По составам воздействия на человека для каждого вредного вещества установлены действующие в настоящее время предельно допустимые концентрации (ПДК), представленные в таб.

**Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воздухе.**

<b>Вещество</b>	<b>Единицы измерения</b>	<b>Максимальная разовая доза</b>	<b>Среднесуточная доза</b>
<b>Диоксид азота NO<sub>2</sub></b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>-0,085</b>	<b>0,085</b>
<b>Оксид азота NO</b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>
<b>Бенз(а)пирен</b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	<b>0,000001</b>

<b>Вещество</b>	<b>Единицы измерения</b>	<b>Максимальная разовая доза</b>	<b>Среднесуточная доза</b>
<b>Пентаоксид ванадия V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>-</b>	<b>0,002</b>
<b>Сажа (копать)</b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>0,15</b>	<b>0,5</b>
<b>Пыль (нетоксичная)</b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>0,5</b>	<b>0,15</b>

<b>Сернистый ангидрид SO<sub>3</sub></b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>
<b>Диоксид серы SO<sub>2</sub></b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>0,5</b>	<b>0,05</b>
<b>Сероводород H<sub>2</sub>S</b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>
<b>Оксид углерода CO</b>	<b>Мг/м<sup>3</sup></b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>

**Определить (в соответствии с данными таб.) для котла заданной производительности:**

- a) Секундный выброс золы в атмосферу с учетом улавливания ее в золоуловителе;
- b) Секундный выброс в атмосферу окислов серы;

с) Секундный выброс окислов азота.

Таблица

Значение величины	Размерно сть	Варианты									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Паропроизводительность котла $DH$	т\ч	620	420	320	640	480	500	220	670	1650	950
Топливо		Кузнецкий 2СС	Донецкий Г (отсев)	Нерюнгринский СС	Донецкий Д (отсев)	Кузнецкий 2СС	Интинский Д	Кузнецкий Г	Черемховский Д	Сучанский Г	Экибастузский СС
Безразмерный коэффициент $\rho_1$		0,55	0,8	0,55	1,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,55	1,0
Расход топлива на котлоагрегат В	т\ч	126,9	49,9	34,7	112,2	53,1	34,8	23	118	326	164
Способ удаления		В твердом состоянии	В жидком состоянии	В твердом состоянии	В жидком состоянии	В твердом состоянии					
Доля окислов серы, уловленных летучей золой		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,02

Примечания:

1. Для всех вариантов тип установленных на котлах золоулавливающих устройств – электрофильтры, со степенью улавливания золы  $\zeta_{zy} = 0,993$ .

2. Степень рециркуляции инертных газов в топку котла  $l = 0$  для всех вариантов.
3. Коэффициент  $\beta_3$ , учитывающий конструкцию горелок для всех вариантов, принимать разным 1.
4. Фактическую нагрузку котла считать равной его номинальной производительности ( $D_\phi = D_M$ ), указанной в таб.
5. Доля окислов серы  $\zeta_{SO_2}$ , уловленных в золоуловителях для электрофильтров, равна нулю ( $\zeta_{SO_2} = 0$ ).

### **Методические указания к решению задачи.**

В результате процесса полного сгорания топлива в дымовых газах образуется углекислый газ  $CO_2$ , водные пары  $H_2O$ , азот  $N_2$ , окислы серы  $SO_2$  (сернистый газ),  $SO_3$  (серный ангидрид) и зола.

При высоких температурах в ядре факела происходит частичное окисление азота воздуха и топлива с образованием окислов азота  $\text{NO}$  (окись азота) и  $\text{NO}_2$  (диоксид азота). К числу токсичных, загрязняющих компонентов относятся окислы серы, азота и зола.

**Секундный выброс золы в атмосферу, г\с, с учетом улавливания ее в золоуловителе определяется по формуле:**

$$M_3 = 10^3 * a_{yn} \frac{A^p + q_N \frac{Q_H^p}{32,7} B(1 - \zeta_{zy})}{100}, \text{ где}$$

$B$  – расход топлива, кг\с;

$a_{yn}$  - доля твердых частиц, уносимых из топки, определяется по таб.;

$q_4$  - потери тепла от механического недожога, % таб.;

$A^p$  - рабочая зольность топлива, %;

$Q_H^p$  - низшая теплота сгорания рабочего топлива,

$\zeta_{zy}$  - степень улавливания твердых частиц в золоуловителях.

Характеристики топлива ( $A^p$ ,  $Q_H^p$ ) определяются по таб.;

**Основное количество серы (около 99%) сгорает до  $\text{SO}_2$ , поэтому выброс ее в атмосферу, г\с, определяется по этому окислу**

$$M_{\text{SO}_2} = 2 * 10^3 \frac{S^p}{100} B (1 - \zeta_{\text{SO}_2}^1) (1 - \zeta_{\text{SO}_2}^4) (100 - \frac{q_4}{100}), \text{ где}$$

$S^p$  - содержание серы, на рабочую массу, %;

$\zeta_{\text{SO}_2}^1$  - доля окислов серы, улавливаемых летучей золой в газоходах котла (таб.);

$\zeta_{\text{SO}_2}^4$  - доля окислов серы, улавливаемых в золоуловителях.

**Выброс окислов азота подсчитывается по  $\text{NO}_2$ , г\с.**

**Секундный выброс  $\text{NO}_2$ , г\с.**

$$M_{\text{NO}_2} = 0,034 \beta_1 K * B * Q_H^p (100 - \frac{q_4}{100}) (1 - \beta_2 \zeta) \beta_3, \text{ где}$$

$\beta_1$  - безразмерный поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества сжигаемого топлива и способа шлакоудаления (таб.);

$\beta_2$  - коэффициент, характеризующий эффективность рециркуляции газа в зависимости от условий их подачи в топку;

$\zeta$  - степень рециркуляции инертных газов, %;

$\beta_3$  - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок;

$K$  – коэффициент, характеризующий выход окислов азота на 1 т. Сожженного условного топлива, кг\т.

$$K = \frac{12D_\phi}{200 + D},$$

$D$  и  $D_\phi$  - нормальная и фактическая Паропроизводительность котла, т\ч.

### **Заключение.**

Наличие стандартов качества воздуха предъявляет жесткие требования при проектировании ТЭС, а так же при эксплуатации и модернизации энергетических котлов. В нашей стране нормативы для факторов окружающей среды, в частности, атмосферного

воздуха установлены ниже защитно-приспособленных реакций организма человека в расчете на ранимые группы населения.

Анализ результатов проведенных по выбросу индивидуальных токсичных компонентов проводится по каждому вредному веществу в отдельности, и необходимо, чтобы концентрация каждого не превышала приведенных в таблице 1. значений предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

Совместное присутствие ряда вредных веществ в атмосферном воздухе может усиливать их токсичность. Такие вещества называются вредными веществами однонаправленного действия. Поэтому введено требование по необходимости учета суммарного воздействия ряда таких веществ. При одновременном содержании в атмосферном воздухе нескольких вредных веществ однонаправленного действия их допустимые концентрации должны удовлетворять неравенству:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1, \text{ где}$$

$C_1, C_2 \dots C_n$  - концентрации вредных веществ однонаправленного действия в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>;

$ПДК_1, ПДК_2 \dots ПДК_n$  - соответствующие значения ПДК этих веществ, мг/м<sup>3</sup>.

К настоящему времени достоверно установлены, в частности, следующие сочетания вредных веществ, обладающие суммированным действием:

диоксид серы + диоксид азота;

диоксид серы + аэрозоль серной кислоты;

диоксид серы + фтористый водород;

диоксид серы + сероводород;

диоксид серы + оксид серы + аммиак + оксиды азота;

диоксид серы + фенол;

диоксид серы + диоксид азота + фенол + оксид углерода;

Из перечисленных соединений для теплоэнергетики наиболее важно первое, так как сернистый ангидрид и диоксид азота практически всегда одновременно присутствуют в продуктах сгорания.

### **Список использованной литературы**

1. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н., Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. М.: Энергоиздат. 1981.
2. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л.: Недра, 1977.
3. Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Л.И. Кроппа, И.Г. Залогина, Ю.М. Кострикина. М.: Энергия, 1979.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. Н.А. Кузнецова и др. М.: Энергия, 1975.

## Приложение

2 – коэффициент, учитывающий отношение молекулярных масс  $SO_2$  (64) и S (32).

Долю оксида серы, улавливаемых лучей золой в газоходах, можно принимать исходя из следующих данных, предоставленных в таблице 1.

Значение коэффициента  $\eta_{SO_2}^I$

Топливо	$\eta_{SO_2}^I$
Горючие сланцы	0,5
Канско–Ачинский бурый уголь	0,2
Торф	0,15

<b>Экибастузский каменный уголь</b>	<b>0,02</b>
<b>Прочие твердые топлива</b>	<b>0,1</b>
<b>Мазут</b>	<b>0,02</b>

$\eta_{з.у}$  - степень уравнивание твердых частиц в золоуловителях.

Доля твердых частиц, уносимых из топки, зависят от типа топки и может быть оценена по данным, представленным в таблице 2

<b>Тип топки</b>	$\alpha_{ун}$
<b>Камеры с твердым шлакоудалением</b>	<b>0,95</b>
<b>Открытые с жидким шлакоудалением</b>	<b>0,7 – 0,85</b>
<b>Полуоткрытые с жидким шлакоудалением</b>	<b>0,6 – 0,8</b>
<b>Двухкамерные топки</b>	<b>0,5 – 0,6</b>
<b>Топки с вертикальными предтопками</b>	<b>0,2 – 0,4</b>
<b>Горизонтальные циклонные топки</b>	<b>0,1 – 0,15</b>

Степень улавливания твердых частиц в золоуловителях зависит от их типа и принципа действия и представлена в

таблице 3.

<b>Тип золоуловителя</b>	$\eta_{SO_2}^I$
<b>Инерционные золоуловители</b>	<b>0,65 – 0,85</b>
<b>Батарейные циклоны</b>	<b>0,82 – 0,90</b>
<b>Скрубберы</b>	<b>0,82 – 0,90</b>
<b>Электрофильтры</b>	<b>0,99 – 0,995</b>
<b>Тканевые фильтры</b>	<b>0,99 – 0,999</b>