

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ

---

---

Кафедра «Экология»

Н.Г.Малькевич

И.А.Трусова

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И МАССЫ ОКСИДОВ АЗОТА И  
ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННЫХ  
УСТАНОВКАХ**

Методическое пособие  
по курсу «Отраслевая экология»  
для студентов всех специальностей

Минск 1999

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ

---

---

Кафедра «Экология»

Н.Г. Малькевич

И.А. Гусова

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И МАССЫ ОКСИДОВ АЗОТА И  
ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННЫХ  
УСТАНОВКАХ**

Методическое пособие  
по курсу "Отраслевая экология"  
для студентов всех специальностей

Минск 1999

УДК 502.3

Малькевич И.Г., Трусова И.А. Определение концентрации и массы оксидов азота и диоксида серы при сжигании топлива в промышленных установках: Метод. пособие по курсу "Отраслевая экология" для студ. всех спец. – Мн.: БГПА, 1999. – 17 с.

Методическое пособие "Определение концентрации и массы оксидов азота и диоксида серы при сжигании топлива в промышленных установках" предназначено для студентов всех специальностей технических и технологических вузов республики, изучающих курс "Отраслевая экология". В пособии приводятся сведения об источниках образования оксидов азота и диоксида серы и методика определения массы загрязняющих веществ при сжигании различных видов топлива в промышленных установках с учетом окисления NO до NO<sub>2</sub> в атмосферном воздухе. Методика определения массы выбросов оксидов азота включает также выполнение сравнительного анализа выбросов NO<sub>x</sub> при замене одного вида топлива на другой в промышленных установках.

Тематика методического пособия соответствует программе курса "Отраслевая экология".

Рецензент М.И.Никитенко

© И.Г.Малькевич, И.А.Трусова, 1999

## Цель работы

1. Определить массу оксидов азота и диоксида серы при сжигании топлива в промышленных установках.
2. Определить массу оксидов азота при выбросе продуктов сгорания в атмосферу с учетом окисления  $\text{NO}$  до  $\text{NO}_2$ .
3. Провести сравнительный анализ выбросов  $\text{NO}_x$  при замене одного вида топлива на другой.

## 1. ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ СЕРЫ И АЗОТА И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ

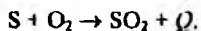
Общий уровень загрязнения атмосферы определяют предприятия металлургической, машиностроительной, химической, нефтехимической промышленности, а также котлы электростанций, промышленные и отопительные котлы, автомобильный транспорт. Они являются источниками поступления в атмосферу более 70% твердых частиц и оксидов серы и свыше 50% оксидов азота, а с выбросами автомобильного транспорта попадает основное количество оксида углерода, углеводородов и 40–50% оксидов азота.

Поступление в атмосферный воздух огромных объемов продуктов сгорания топлива от котлов, промышленных печей, а также отработанных газов автомобилей изменяет состав атмосферного воздуха, часто приближая концентрации токсичных веществ к опасным по биологическому воздействию на человека, животных, растения, приводит к быстрой коррозии металлов.

Диоксид серы образуется при сгорании серосодержащих веществ и соответственно присутствует в отходящих газах, главным образом при сжигании серосодержащих видов топлива для производства теплоты, пара или электрической энергии.

Около 70%  $\text{SO}_2$  образуется при сжигании угля и 16% - жидкого топлива (особенно, мазута). Выбросы диоксида серы почти полностью зависят от со-

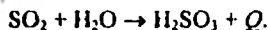
держания серы в топливе, так как в процессе горения более 95% S превращается в диоксид серы:



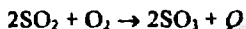
Обычно массовая доля серы в угле в зависимости от месторождения составляет 1,0...5,0 %. Содержание серы в мазутах средней тяжести 1,8%, а в мазутах для тяжелой индустрии оно превышает 3%.

Диоксид серы или сернистый газ ( $SO_2$ ) - бесцветный и негорючий газ с раздражающим острым запахом. Диоксид серы существует в атмосфере от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от влажности и других условий.

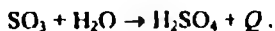
При контакте  $SO_2$  с атмосферным водяным паром образуется сернистая кислота:



Разрушение  $SO_2$  в атмосфере происходит в результате воздействия ультрафиолетовой радиации, которая способствует образованию триоксида серы ( $SO_3$ ) по реакции



Триоксид серы представляет собой бесцветный газ. В атмосфере время жизни  $SO_3$  очень мало ( $10^{-6}$  с), так как он быстро реагирует с парами воды, образуя серную кислоту:



Пары серной кислоты придают дымовым газам синеватую окраску.

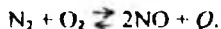
В атмосферу поступает еще одно соединение серы - сероводород ( $H_2S$ ), бесцветный горючий высокотоксичный газ. Время жизни  $H_2S$  в атмосфере составляет примерно 1 день.

Оксиды азота ( $NO_x$ ) – это общее название, используемое в основном для двух газообразных оксидов азота - оксида азота ( $NO$ ) и диоксида азота ( $NO_2$ ).

$NO$ , поступают в атмосферу от стационарных источников (ТЭЦ, промышленные установки) и автотранспорта. Более 95% от общего количества

выбросов оксидов азота поступает в атмосферу с продуктами сгорания жидкого и газообразного топлива.

В топочных камерах котлов и промышленных печей, где максимальные локальные температуры в факеле достигают 2100 – 2200 К, при наличии свободного кислорода активно протекает реакция синтеза оксида азота из азота, содержащегося в топливе, и в результате окисления атмосферного азота свободным кислородом при горении (взрыве), что описывается уравнением

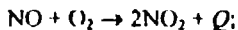


Выход оксида азота растет с увеличением температуры в зоне горения.

90...95%  $\text{NO}_x$ , выбрасываемых через дымовые трубы, состоят из  $\text{NO}$ . Оксид азота  $\text{NO}$  - бесцветный газ, без запаха, негорючий и слабо растворимый в воде.

После выхода из дымовой трубы в атмосферу основная часть оксида азота  $\text{NO}$  переходит в диоксид азота  $\text{NO}_2$  по двум основным реакциям;

1) в результате взаимодействия оксида азота с кислородом атмосферы

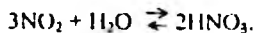


2) в результате окисления  $\text{NO}$  атмосферным озоном



При образовании диоксида азота основную роль играет атмосферный озон. Реакция озона с оксидом азота протекает примерно в  $10^5$  раз быстрее реакции окисления  $\text{NO}$  кислородом.

Диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ) представляет собой красновато-оранжево-коричневатый газ с острым едким запахом.  $\text{NO}_2$  сохраняется в атмосфере в среднем около 3 суток. Диоксид азота является главной составной частью "лишнего хвоста" - шлейфа дымовых газов. При контакте  $\text{NO}_2$  с атмосферной влагой образуется азотная кислота:



## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И МАССЫ ОКСИДОВ АЗОТА И ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ

При сжигании топлива в промышленных установках в качестве окислителя используют кислород, содержащийся или в воздухе, или в обогащенном кислородом дутье. Наименьшее количество воздуха, необходимое для полного сгорания единицы топлива, называется теоретически необходимым количеством  $V_1$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ). На практике для обеспечения полного сгорания топлива в промышленных печах и топочных камерах котлов расход воздуха  $V_2$  несколько превышает теоретический.

Величина, показывающая отношение действительного расхода воздуха  $V_2$  к теоретическому  $V_1$ , называется коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ :

$$\alpha = V_2 / V_1. \quad (1)$$

Масса выбросов оксида азота при наличии избыточного кислорода тем больше, чем выше максимальная температура горения. Максимальный выброс оксидов азота наблюдается при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,05 \dots 1,2$ , когда температура незначительно отличается от максимальной и в то же время при сгорании имеется свободный кислород.

Количество загрязняющих веществ  $M$  (г/с), содержащихся в выбросах дымовых газов в атмосферу, в общем случае рассчитывается по формуле

$$M = V_1' \cdot C, \quad (2)$$

где  $V_1'$  - объем продуктов сгорания, образующихся при сжигании топлива,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Объем продуктов сгорания  $V_1'$  определяют по выражению

$$V_1' = \frac{V_{\text{топл}} \cdot V_1}{3600}, \quad (3)$$

где  $V_{\text{топлив}}$  - объем газа, сжигаемого в установке,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $V_r$  - объем продуктов сгорания при сжигании единицы массы или объема топлива,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ . Объем продуктов сгорания зависит от вида топлива и коэффициента избытка воздуха (табл.1).

$C$  - концентрация вредных веществ ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) зависит от вида топлива (его состава), коэффициента избытка воздуха, горелочных устройств, принципа сжигания и т.д. Ориентировочные значения концентраций вредных веществ приведены в табл.2.

Таблица 1

Расчетные характеристики топлива

Вид топлива	Теплота сгорания $Q_n^p$ , $\text{МДж}/\text{м}^3$	Объем продуктов сгорания, $V_r$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$
Мазут	38,4	$11,08 + 10,46 (\alpha - 1)$
Природный газ	35,7	$10,64 + 9,63 (\alpha - 1)$
	35,5	$10,49 + 9,49 (\alpha - 1)$
Доменный газ	4,0	$1,64 + 0,79 (\alpha - 1)$
Коксовый газ	16,6	$4,67 + 3,99 (\alpha - 1)$

$Q_n^p$  - низшая рабочая теплота сгорания топлива (количество теплоты, выделяющееся при сжигании  $1 \text{ м}^3$  или  $1 \text{ кг}$  топлива ( $\text{МДж}/\text{м}^3$ ,  $\text{МДж}/\text{кг}$ )).

### 3. РАСЧЕТ МАССЫ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ВЫБРОСЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В АТМОСФЕРУ С УЧЕТОМ ОКИСЛЕНИЯ $\text{NO}$ ДО $\text{NO}_2$

В продуктах сгорания топлива присутствуют оксиды азота  $\text{NO}_x$ , состоящие из оксида азота (монооксида)  $\text{NO}$  ( $\text{ПДК} = 0,6 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) и диоксида азота  $\text{NO}_2$  ( $\text{ПДК} = 0,085 \text{ мг}/\text{м}^3$ ). При определении массы оксидов азота необходимо учитывать, что оксид азота  $\text{NO}$ , попадая в атмосферный воздух, окисляется до  $\text{NO}_2$ , токсичность которого в несколько раз больше, чем  $\text{NO}$ .

Масса оксидов азота, содержащихся в продуктах сгорания в виде  $\text{NO}_2$  ( $\text{г}/\text{с}$ ).



$$NO_2^* = M p_{NO_2}, \quad (4)$$

где  $M$  - масса оксидов азота  $NO_x$  (г/с) в продуктах сгорания топлива;

$p_{NO_2}$  - доля диоксида азота, содержащегося в продуктах сгорания

Масса оксидов азота, содержащихся в продуктах сгорания в виде  $NO$  (г/с):

$$NO^* = M(1 - p_{NO_2}), \quad (5)$$

Масса диоксида азота  $NO_2^*$  (г/с), образующегося в атмосферном воздухе из оксида азота:

$$NO_2^* = NO^* p_{NO} \left( \frac{\mu_{NO_2}}{\mu_{NO}} \right), \quad (6)$$

где  $p_{NO}$  - доля оксида азота  $NO$ , окисляющегося в атмосферном воздухе до диоксида азота  $NO_2$ ;

$\mu_{NO_2}$ ,  $\mu_{NO}$  - молекулярная масса  $NO_2$  и  $NO$ .

Масса диоксида азота  $NO_2$  (г/с), которую следует учитывать при расчете загрязнения атмосферного воздуха:

$$NO_2 = NO_2^* + NO_2^*, \quad (7)$$

Масса оксида азота  $NO$  (г/с), которую следует учитывать при расчете загрязнения атмосферного воздуха:

$$NO = NO^* (1 - p_{NO}). \quad (8)$$

Суммарная масса оксидов азота  $NO_x$  (г/с) в атмосферном воздухе

$$NO_x = NO_2 + NO. \quad (9)$$

Таблица 2

Типы агрегатов и соответствующая им концентрация  $C$  (мг/м<sup>3</sup>) вредных веществ  
в продуктах сгорания топлива

Тип агрегата	$\alpha$	Коксовый газ		Доменный газ		Природный газ		Мазут	
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Нагревательные и термические печи (устройства)	1,05	390-H <sub>2</sub> S	140	1190-S	50	13	180	1664-S	180
	1,1	370-H <sub>2</sub> S	260	1160-S	90	13	210	1592-S	230
	1,15	360-H <sub>2</sub> S	330	1140-S	100	12	260	1527-S	330
	1,2	340-H <sub>2</sub> S	390	1110-S	120	12	290	1466-S	390
	1,6	240-H <sub>2</sub> S	140	880-S	50	8	200	994-S	200
Промышленные котлы	1,05	390-H <sub>2</sub> S	210	1190-S	80	13	230	1737-S	250
	1,1	370-H <sub>2</sub> S	330	1160-S	140	13	270	1663-S	330
	1,15	370-H <sub>2</sub> S	420	1140-S	170	12	330	1594-S	420
	1,2	340-H <sub>2</sub> S	520	1110-S	200	12	380	1532-S	520
Уютительные котлы	1,1	-	-	-	-	13	140	1663-S	200
	1,15	-	-	-	-	12	170	1594-S	250

Содержание серы в топливе: доменный газ  $S = 0,3$  г/м<sup>3</sup>; коксовый газ  $H_2S = 1$  г/м<sup>3</sup>; мазут  $S = 0,04$  г/м<sup>3</sup>.

#### 4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ NO<sub>x</sub> ПРИ ЗАМЕНЕ ОДНОГО ВИДА ТОПЛИВА НА ДРУГОЙ

В производственных условиях может возникнуть необходимость замены одного вида топлива на другой, поэтому с экологической точки зрения представляет интерес проведение сравнительного анализа выбросов NO<sub>x</sub> (г/с) при использовании различных видов топлива.

Количество теплоты, необходимое для обеспечения технологического процесса, рассчитывается по выражению

$$Q_{\text{техн}} = Q_{\text{н}}^p \cdot V_{\text{топл}} \cdot \text{МДж/ч}, \quad (10)$$

где  $Q_{\text{н}}^p$  - теплота сгорания используемого топлива, МДж/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{топл}}$  - расход используемого топлива, м<sup>3</sup>/ч.

По формуле (10) определяется необходимый объем заменяемого топлива  $V_{\text{топл}}$ , м<sup>3</sup>/ч.

Например, расход природного газа ( $Q_{\text{н}}^p = 35,5 \text{ МДж/м}^3$ ) на установку составляет 100 м<sup>3</sup>/ч. Количество теплоты, необходимое для обеспечения технологического процесса:

$$Q_{\text{техн}} = 35,5 \cdot 100 = 3550 \text{ МДж/ч.}$$

Природный газ заменен на коксовый ( $Q_{\text{н}}^p = 16,6 \text{ МДж/м}^3$ ). Объем коксового газа, который необходимо подать в установку для обеспечения технологического процесса:

$$V_{\text{топл}} = \frac{Q_{\text{техн}}}{Q_{\text{н}}^p} = \frac{3550}{16,6} = 214 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Дальнейший расчет выбросов NO<sub>x</sub> (г/с) для различных видов топлива производится в соответствии с п.2 без учета окисления NO до NO<sub>2</sub>.

По итогам расчетов массы оксидов азота делаются выводы об экологичности топлива при замене одного вида топлива на другой.

## 5. ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ

1. Определить массу  $M$  (г/с) оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) от промышленной установки, в которой сжигается топливо в объеме  $V_{\text{топлив}}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Исходные данные приведены в табл.3.

Таблица 3

№ варианта	Тип промышленной установки	Расход топлива на установку $I_{\text{топлив}}$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Теоретический объем воздуха для сжигания $I_{\text{т}}$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$	Действительный объем воздуха для сжигания $I_{\text{д}}$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$	Используемое топливо $Q_{\text{н}}^{\text{P}}$
1	Нагревательные устройства	27650	0,78	0,85	томенный газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 4,0 \text{ МДж/м}^3$
2	Нагревательные печи	2500	9,25	14,7	природный газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 35,7 \text{ МДж/м}^3$
3	Нагревательные печи	2000	10,44	12,53	мазут $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 38,4 \text{ МДж/м}^3$
4	Термические печи	800	9,01	9,46	природный газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 35,5 \text{ МДж/м}^3$
5	Котлы промышленные	5700	4,06	4,68	коксовый газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 16,6 \text{ МДж/м}^3$
6	Котлы промышленные	2400	10,44	12,53	мазут $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 38,4 \text{ МДж/м}^3$
7	Котлы промышленные	2700	9,25	10,2	природный газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 35,7 \text{ МДж/м}^3$
8	Котлы промышленные	12000	0,72	0,755	томенный газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 4,0 \text{ МДж/м}^3$
9	Отопительные котлы	1200	9,01	10,36	природный газ $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 35,5 \text{ МДж/м}^3$
10	Отопительные котлы	1000	10,44	11,485	мазут $Q_{\text{н}}^{\text{P}} = 38,4 \text{ МДж/м}^3$

2. Определить массу оксида азота (NO) и диоксида азота (NO<sub>2</sub>), которую следует учитывать в расчете загрязнения атмосферного воздуха с учетом окисления NO до NO<sub>2</sub>.

Массу оксидов азота NO<sub>x</sub>(г/с), содержащуюся в продуктах сгорания топлива, принять по результатам расчета 1.

Атомная масса азота - 14, кислорода - 16.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 4

Таблица 4

Вариант	$P_{NO_2}$ - доля диоксида азота NO <sub>2</sub> в дымовых газах	$P_{NO}$ - доля оксида азота NO, окисляющегося в воздухе до NO <sub>2</sub>
1	0,1	0,8
2	0,03	0,75
3	0,04	0,78
4	0,03	0,81
5	0,1	0,78
6	0,1	0,81
7	0,05	0,77
8	0,03	0,79
9	0,03	0,8
10	0,1	0,77

3. Провести сравнительный анализ выбросов NO<sub>x</sub> (г/с) при замене используемого топлива на другой вид топлива с целью уменьшения выбросов оксидов азота.

Известно, что использование одного и того же топлива в разных агрегатах сопровождается образованием разного количества вредных веществ

Расчет количества выбросов NO<sub>x</sub> (г/с) заменяемого топлива осуществляется по аналогии с расчетом 1.

Исходные данные приведены в табл.5

По результатам расчета делаем анализ полученных данных и формулируем вывод.

Таблица 5

№ варианта	Тип агрегата	Используемое топливо	Расход топлива $V_{\text{расч}}$ м <sup>3</sup> /ч	Коэффициент избытка воздуха $\alpha$	Предлагаемое топливо
1	2	3	4	5	6
1	Нагревательные устройства	доменный газ ( $Q_n^p = 4 \text{ МДж/м}^3$ )	27650	1,1	природный газ ( $Q_n^p = 35,5 \text{ МДж/м}^3$ ) коксовый газ ( $Q_n^p = 16,6 \text{ МДж/м}^3$ )
2	Нагревательные печи	природный газ ( $Q_n^p = 35,7 \text{ МДж/м}^3$ )	2500	1,6	коксовый газ ( $Q_n^p = 16,6 \text{ МДж/м}^3$ ) мазут ( $Q_n^p = 38,4 \text{ МДж/м}^3$ )
3	Нагревательные печи	мазут ( $Q_n^p = 38,4 \text{ МДж/м}^3$ )	2000	1,2	коксовый газ ( $Q_n^p = 16,6 \text{ МДж/м}^3$ ) природный газ ( $Q_n^p = 35,7 \text{ МДж/м}^3$ )
4	Термические печи	природный газ ( $Q_n^p = 35,5 \text{ МДж/м}^3$ )	800	1,05	мазут ( $Q_n^p = 38,4 \text{ МДж/м}^3$ ) природный газ ( $Q_n^p = 35,7 \text{ МДж/м}^3$ )
5	Промышленные котлы	коксовый газ ( $Q_n^p = 16,6 \text{ МДж/м}^3$ )	5700	1,15	природный газ ( $Q_n^p = 35,5 \text{ МДж/м}^3$ ) доменный газ ( $Q_n^p = 4 \text{ МДж/м}^3$ )

Окончание табл.5

1	2	3	4	5	6
6	Промышленные котлы	мазут ( $Q_n^p = 38,4$ МДж/м <sup>3</sup> )	2400	1,2	природный газ ( $Q_n^p = 35,7$ МДж/м <sup>3</sup> ) коксовый газ ( $Q_n^p = 16,6$ МДж/м <sup>3</sup> )
7	Промышленные котлы	природный газ ( $Q_n^p = 35,7$ МДж/м <sup>3</sup> )	2700	1,1	мазут ( $Q_n^p = 38,4$ МДж/м <sup>3</sup> ) коксовый газ ( $Q_n^p = 16,6$ МДж/м <sup>3</sup> )
8	Промышленные котлы	доменный газ ( $Q_n^p = 4$ МДж/м <sup>3</sup> )	12000	1,05	природный газ ( $Q_n^p = 35,7$ МДж/м <sup>3</sup> ) мазут ( $Q_n^p = 38,4$ МДж/м <sup>3</sup> )
9	Бытовые котлы	природный газ ( $Q_n^p = 35,5$ МДж/м <sup>3</sup> )	1200	1,15	мазут ( $Q_n^p = 38,4$ МДж/м <sup>3</sup> ) природный газ ( $Q_n^p = 35,7$ МДж/м <sup>3</sup> )
10	Бытовые котлы	мазут ( $Q_n^p = 38,4$ МДж/м <sup>3</sup> )	1000	1,1	природный газ ( $Q_n^p = 35,5$ МДж/м <sup>3</sup> ) природный газ ( $Q_n^p = 35,7$ МДж/м <sup>3</sup> )

## Контрольные вопросы

1. Источники образования диоксида серы.
2. Производные серы, их воздействие на окружающую среду.
3. Источники образования оксидов азота  $\text{NO}_x$ , их производные.
4. Факторы, влияющие на образование  $\text{NO}_x$  при сжигании топлива.
5. Определение коэффициента избытка воздуха при сжигании топлива.
6. Основной состав продуктов сгорания органического топлива.

## Литература

1. Карягин Н. П. Защита атмосферы от загрязнения: Учебное пособие. – Горький: ГИСИ им. В. П. Чкалова, 1987.
2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений В 2 ч. Ч. I. / Под ред. С. Калверта, Г. Инглунда. - М.: Металлургия, 1988.
3. Шаприцкий В. Н. Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы. - М.: Металлургия, 1990.



## Содержание

Цель работы. ....	3
1. ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ СЕРЫ И АЗОТА И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ. ....	3
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И МАССЫ ОКСИДОВ АЗОТА И ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ. ....	6
3. РАСЧЕТ МАССЫ ОКСИДОВ АЗОТА ПРИ ВЫБРОСЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В АТМОСФЕРУ С УЧЕТОМ ОКИСЛЕНИЯ NO до NO <sub>2</sub> ...	7
4. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ NO <sub>x</sub> ПРИ ЗАМЕНЕ ОДНОГО ВИДА ТОПЛИВА НА ДРУГОЙ. ....	10
5. ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ. ....	11
Контрольные вопросы. ....	15
Литература. ....	15

Учебное издание

МАЛЬКЕВИЧ Наталья Геннадьевна  
ТРУСОВА Ирина Александровна

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И МАССЫ ОКСИДОВ АЗОТА  
И ДИОКСИДА СЕРЫ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА В  
ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ**

Методическое пособие  
по курсу "Отраслевая экология"  
для студентов всех специальностей

Редактор Н.А.Школьников

---

Подписано в печать 04.12.99.

Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №2. Офсет. печать.

Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 120. Зак. 643.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусская государственная политехническая академия.

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.98 220027. Минск, пр.Ф.Скорины, 65.