Определить массовый выброс летучей золы, окислов серы и окислов азота при сжигании различных видов топлив, выбрать тип золоулавливающего устройства и способы уменьшения выбросов окислов серы и окислов азота в окружающую среду, соответственно, по вариантам, представленным в таблице 1.

Таблица 1

№ варианта	Бассейн, месторождение топлива	Выработка тепла, МВт
0	Донецкий АШ	5
1	Кузнецкий Г	10
2	Мазут малосернистый	12
3	Экибастузский СС	8
4	Торф	6
5	Березовский Б2	15
6	Эстонсланец	13
7	Мазут Сернистый	7
8	Ирша -Бородинский Б2	18
9	Донецкий Г	20

КПД котла принять в зависимости от вида топлива и теплопроизводительности, выбрав тип котлоагрегата.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Выброс летучей золы в атмосферу

Количество выбросов летучей золы в атмосферу во многом зависит от вида сжигаемого топлива и способа золоулавливания. На 80% ТЭС используется более 230 видов твердого топлива, отличающегося многообразием качественных характеристик. Наиболее перспективными из углей считаются канско-ачинские, экибастузские, донецкие АШ и ГСШ,

кузнецкие и др. Физико-химические характеристики топлив приведены в приложении 1.

Качество золы, уносимой из топок парогенераторов в единицу времени, г/с, определяется по формуле:

$$M_З^{'} = 10 \cdot B \cdot \left(A^P + q_4 \cdot \frac{Q_H^P}{3{,}27} \right) \cdot a_{УН} \qquad (1)$$

где

В – расход топлива, кг/с;

A^P – зольность топлива на рабочую массу, % (Приложение 1);

q_4 – потери механизма от механического недожога, %;

$a_{УН}$ – доля твердых частиц, уносимых из топки с дымовыми газами, %, (табл.4);

Q_H^P - низшая теплота сгорания рабочего топлива, МДж/кг;

3,27 – средняя теплота сгорания горючих в уносе, МДж/кг.

За счет установки за каждым парогенератором золоулавливающих устройств, выброс золы в атмосферу можно существенно сократить, в зависимости от эффективности улавливания твердых частиц золоулавливателем.

$M_З$ – массовый выброс золы в атмосферу, г/с, определяется по формуле:

$$M_З = M_З^{'} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{ЗУ}}{100} \right), \qquad (2)$$

Таблица 4

Значения q_4 и $a_{УН}$ для различных топлив и топочных устройств.

Топочное Устройство	Топливо	Потеря теплоты q_4, %	Доля уноса золы из топки, $a_{УН}$
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Антрацит	6	0,95
	Тощие угли	2	0,95
	Каменные угли	1,0-1,5	0,95
	Бурые угли	0,5-1	0,95

	Фрезерный торф	0,5-1	0,95
	Горючие сланцы	0,5-1	0,95
	Мазут	-	0,95
Однокамерная топка с жидким шлакоудалением	Антрацит	9-4	0,85
	Тощие угли	1,5	0,8
	Каменные угли	0,5	0,8
	Бурые угли	0,5	0,7-0,8
Двухкамерные топки		-	0,5-0,6
Горизонтальные циклоны		-	0,1-0,15
Топки с вертикальными предтопками		-	0,2-0,4

Выбор типа золоулавливающего устройства зависит от многих факторов: типа и мощности парогенераторов, вида топлива и способа его сжигания, физико-химических свойств золы и дымовых газов, требуемой степени очистки, удобства компоновки золоулавливателей, возможности использования золошлаковых отходов в народном хозяйстве.

2. Расчет выбросов отходов серы и способы их уменьшения

Количество образующихся при сжигании топлив окислов серы зависит прежде всего от сернистости и расхода топлива. В перспективе предусматривается использование в энергетике малосернистых топлив сибирских месторождений. Однако, потребление сернистых мазутов

теплоэлектростанциями ТЭЦ остается еще значительным. Сокращение выбросов, особенно на станциях европейской части страны, является весьма актуальным.

Количество диоксида серы SO_2 и SO_3 в пересчете на г/с, выбрасываемое в атмосферу в единицу времени, вычисляется по формуле:

$$M_{SO_2} = 20 \cdot B \cdot S^P \cdot \left(1 - \frac{\eta'_{SO_2}}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{\eta''_{SO_2}}{100}\right) \quad (3)$$

где

η'_{SO_2} - доля SO_2, уловленная золовыми частицами в газоходе котла, %;

η''_{SO_2} - доля SO_2, уловленная в золоуловителях: для сухих золоуловителей η''_{SO_2}=0; для мокрых при орошении нейтральной водой η''_{SO_2}=1,5%, при орошении щелочной водой (щелочность 5…10 мг-экв/л) η''_{SO_2}=2…3%.

Величина η'_{SO_2} выбирается, исходя из вида топлива и способа шлакоудаления по таблице 5.

Уменьшить выброс окислов серы можно различными путями:

- предварительной переработкой топлив перед сжиганием в котлах с увеличением продуктов переработки серосодержащих компонентов;
- связыванием серы в процессе сжигания топлив;
- очисткой дымовых газов.

Таблица 5

Топливо	η'_{SO_2}, %
Торф	15
Сланцы	5-8
Экибастузский уголь	2
Березовские угли:	
- для топок с твердым шлакоудалением	50
- для топок с жидким шлакоудалением	20

Канско-ачинские угли:	
- для топок с твердым шлакоудалением	20
- для топок с жидким шлакоудалением	5
Прочие угли	10
Мазут	2
Газ	0

3. Расчет выбросов окислов азота и пути их снижения при сжигании различных топлив

Оксиды азота весьма токсичны, они образуются вследствие окисления азота, содержащегося в топливе и воздухе. Оксиды азота образуются при сжигании углей, мазута, природного газа. Концентрация оксидов азота быстро возрастает с повышением температуры и достигает существенных значений при температуре выше 1750 ^{0}С. При этом наибольшую концентрацию имеет низший оксид NO, в то время как содержание высших оксидов NO_2 и N_2O_4 является незначительным. Окисление азота можно представить следующим образом:

$$N_2 + \tfrac{1}{2} O_2 = NO + N;$$

$$N + O_2 = NO + \tfrac{1}{2} O_2.$$

Образовавшийся в ядре горения топочной камеры NO практически не может быть окислен кислородом дымовых газов за то короткое время, измеряемое секундами, в течение которого газы движутся в пределах парогенератора внешних газоходов и дымовой трубы. Таким образом, выбрасывается в основном оксид NO, который постепенно может окисляться до NO_2 при движении в атмосферном воздухе.

Для снижения содержания оксидов азота в выбрасываемых в атмосферу продуктов сгорания необходимо подавлять их образование в топочной камере котельных агрегатов. Одним из наиболее эффективных методов по подавлению оксидов азота является снижение коэффициента

избытка воздуха, в настоящее время имеется опыт работы энергетических котлоагрегатов с коэффициентом избытка воздуха 1,02-1,03 при сжигании природного газа и мазута, также применяются рециркуляция продуктов сгорания в топочную камеру, двухстадийное сжигание топлива, подача воды и пара в зону горения.

Основными параметрами, влияющим на выброс оксидов азота в окружающую среду, являются качество сжигаемого топлива (при сжигании природного газа или мазута образуется большее количество оксидов азота, нежели при сжигании углей) и способы шлакозолоудаления при сжигании углей (твердое шлакозолоудаление более эффективно, по сравнению с жидким), а также выход оксидов азота на 1 т соженного условного топлива, который определяется паро- и теплопроизводительностью используемых котлов.

Выброс окислов азота можно определить на основании данных экспериментальных исследований различного типа котлов:

$$M_{NO_2} = K_{NO_2} \cdot B \cdot Q_H^P \text{, г/с} \qquad (4)$$

где

K_{NO_2} - содержание NO_2 на 1 ГДж тепла.

Таблица 6

Результаты определения K_{NO_2}, кг NO_2/ГДж, в дымовых газах некоторых котлоагрегатов

Котлоагрегат	Эквивалентная электрическая мощность, МВт	Топливо	K_{NO_2}, кг NO_2/ГДж
ТГМП-204	800	Мазут	0,26
П-57	500	Экибастузский уголь	0,35
ТПП-200	400	Донецкий АШ	0,88
ТПП-200	400	Мазут	0,67
ТПП-312	300	Донецкий ГСШ	0,47
ТГМП-314	300	Мазут	0,26
П-49	250	Сушенка Назаровского Б	0,36
ПК-33	200	Подмосковный	0,33
ТП-100	200	Донецкий ПАШ	0,24
ТП-90	160	Донецкий АШ	0,39

ТГМ-94	160	Мазут	0,23
ТГМ-94	160	Газ	0,29
ТПП-110	150	Донецкий АШ	0,59
ТПП-110	150	Газ	0,54
ПК-30	150	Экибастузский СС	0,35
ТГМП-114	150	Мазут	0,4
ПК-41	150	Мазут	0,25
ТП-87	130	Кузнецкий Г	0,54
ТП-80	130	Кузнецкий СС	0,52
ПК-10Ш	65	Ирша-бородинский Б	0,36
ПК-10Ш	65	Березовский Б	0,24
БКЗ-210	65	Кузнецкий Г	0,24

В таблице 6 приведены результаты измерения содержания окислов азота в дымовых газах ВТИ и рядом других организаций и на наиболее крупных отечественных котлах при сжигании основных топлив.

Приведенные в табл.6 выбросы относятся к нормальным эксплуатационным режимам при нормальной нагрузке без применения каких-либо средств снижения выбросов NO_2. В случае, если отсутствуют экспериментальные данные по K_{NO_2}, выброс окисла азота с учетом применения способов подавления образования определяется по формуле:

$$M_{NO_2} = 0.034 \cdot K \cdot B \cdot Q_H^P \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \xi_1 \cdot r) \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_2 \qquad (5)$$

где

К – коэффициент, характеризующий выход NO_2 на 1тонну условного топлива, кг/т;

β_1 - коэффициент, учитывающий влияние на выход NO_2 качества сжигаемого топлива: для твердого топлива β_1=0,178+0,47N^P; для газообразного и жидкого топлива значения коэффициента β_1 приведены в табл. 7.

Таблица 7

Значения коэффициента β_1

Коэффициент избытка воздуха	Топливо

α	Газ	Мазут
>1.05	0.9	1.0
=1.05…1.03	0.8	0.9
< 1.03	0.7	0.75

β_2 - коэффициент, учитывающий конструкцию горелок: для вихревых β_2=1, для прямоточных β_2=0,85.

β_3 - коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления: при жидком шлакоудалении β_3=1,4; во всех остальных случаях β_3=1.

r – степень рециркуляции дымовых газов, % от расхода дутьевого воздуха.

ξ_1 - коэффициент эффективности воздействия рециркуляции газов в зависимости от условий подачи их в топку (таблица 8).

ε_2 - коэффициент, характеризующий сжигание выброса NO_2 при подаче воздуха помимо основных горелок при двухстадийном сжигании в зависимости от δ, % доли воздуха, подаваемого через фурмы воздушного дутья, расположенные выше горелок (таблица 9).

Таблица 8

Значение коэффициента ξ_1 при 0<r<30%

Способ ввода в топку газов рециркуляции	ξ_1
Газ-мазут при вводе в подтопки	0,020
Через шлицы под горелками	0,015
По наружному каналу горелок	0,020
В воздушное дутье	0,025
В рассечку двух воздушных потоков	0,030
При высокотемпературном сжигании топлива:	
- при вводе рециркуляционных газов в первичную аэросмесь	0,010
- во вторичный воздух	0,005

Таблица 9

Доля воздуха, %	Значение коэффициента ε_2	
	Топливо	
	Газ - мазут	Твердое топливо
5	0,9	0,15
10	0,8	0,74
15	0,7	0,65
20	0,62	0,58

Для котлов паропроизводительностью более 70 т/ч при смешении газа и мазута во всем диапазоне нагрузок, а также для котлов, сжигающих твердое топливо при нагрузке выше 75% номинальной:

$$K = \frac{12 \cdot D_{\phi}}{200 + D}, \tag{6}$$

где

D и $D_{Ф}$ – номинальная и фактическая производительность котла.

Для котлов паропроизводительностью менее 70 т/ч:

$$K = \frac{D_{\Phi}}{20}. \tag{7}$$

Для водогрейных котлов:

$$K = \frac{2{,}5 \cdot Q_{\Phi}}{20} + Q, \tag{8}$$

где

Q и $Q_{Ф}$ – номинальная и фактическая тепловая производительность котла, ГДж/ч.

При сжигании твердого топлива с температурой факела t_{Φ}=1500 ^{0}С во всем диапазоне нагрузок вместо $D_{Ф}$ и $Q_{Ф}$ предусматривается D и Q.

Очистка дымовых газов от окислов азота может быть осуществлена химической конденсацией с помощью жидких и твердых поглотителей, а также каталитической обработкой выбрасываемых газов. Такие методы широко применяются в химической промышленности и оказываются эффективными только при высоких концентрациях окислов азота в очищенных газах.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Характеристика энергетических топлив

Бассейн, месторождение топлива	Марка, класс топлива	Зольность рабочая	Сернистость рабочая	Влажность рабочая	Теплота сгорания	Выход летучих	Азот на горючую массу	Объем дымовых газов рабочий
		A^P	S^P	W^P	Q_H^P	$V_Г$	N	V_P^O
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Донецкий	АШ	22,9	1,7	5,8	20,89	4,0	0,8	8,74
	Г	9,9	3,0	10,0	25,95	39,0	1,5	6,92
	Ж	14,4	3,4	10,0	25,12	31,0	1,5	6,87
Подмосковный	Б2	38,7	3,9	32,0	9,88	48,0	1,1	1,75
Воркутинское	Ж	11,9	0,7	7,0	27,47	33,0	2,4	9,04
Челябинский	Б3	35,8	1,2	17,0	14,15	44,0	2,0	5,75
Бабаевский	Б1	14,4	1,1	56,0	9,09	65,0	0,7	4,81
Экибастузский	СС	34,9	0,7	7,0	18,88	24,2	1,5	6,24
Кузнецкий	Г	26,9	0,6	12,0	20,01	41,0	2,9	6,87
	ГР	14,4	0,5	8,0	25,25	40,5	2,7	9,25
Томьусинское	К	36,9	0,3	9,0	18,59	22,0	2,5	8,91
Ирша-Бородинский	Б2	9,7	0,3	33,0	15,49	47,0	1,0	6,61
Назаровский	Б2	11,6	0,7	39,0	13,02	48,0	0,8	5,84
Березовский	Б2	6,7	0,3	37,0	15,66	48,0	0,7	6,71
Черемховское	ДР	30,9	1,2	13,0	20,85	51,0	1,7	7,09
Гусиноозерское	Б3	21,8	0,9	23,0	16,83	43,0	1,1	7,18
Харанорское	Б1	18,1	0,5	40,0	11,97	44,0	1,0	5,63
Раичихинское	Б2	14,6	0,5	37,5	12,73	43,0	1,0	5,71
Архагалинское	ДР	14,8	0,3	19,0	19,09	41,0	1,1	-
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Норюнгринское	СС	17,9	0,2	7,0	24,53	20,0	1,4	-
Эстоносланец		50,4	1,6	12,0	9,0	90,0	0,3	4,25
Торф		12,0	0,3	50,0	8,12	70,0	2,5	4,25
Мазут:								
- малосернистый		0,027	0,38	2,0	41,48	-	-	15,75
- сернистый		0,032	1,79	2,0	41,13	-	-	15,45
- высокосернистый		0,055	2,53	2,0	39,87	-	-	15,07
Карагандинский	КР	30,0	0,9	8,0	21,06	28,0	1,4	8,26
Ангренский	Б2	22,0	2,0	34,5	13,44	33,5	0,4	5,99
ингашское	Б1	11,5	0,7	40,5	12,31	48,0	0,7	5,74