

УДК 621.311

М. Н. Чепурной, к. т. н. доц.; Л. А. Боднар, к. т. н.; Е. М. Янковская**ВЫБРОСЫ ОКСИДОВ СЕРЫ В АТМОСФЕРУ В ПРОЦЕССЕ СЖИГАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ**

Построены номограммы для определения удельных массовых выбросов оксидов серы. Проанализировано влияние отдельных факторов на величину массовых выбросов.

Ключевые слова: оксиды серы, теплота сгорания топлива, дымовые газы, тепловое напряжение топки, коэффициент избытка воздуха.

Введение

Защита атмосферного воздуха является одной из наиболее актуальных проблем для всех промышленных регионов, поскольку экологические ограничения препятствуют развитию и расширению мощностей промышленных и энергетических предприятий. Наибольшая опасность загрязнений атмосферы связана со сжиганием органического топлива в котельных. Главной проблемой, которая возникает в связи с наличием в атмосфере вредных выбросов, является прямое или косвенное воздействие их на биосферу и здоровье человека.

Жидкие и твердые органические топлива, используемые в теплоэнергетике, содержат в своем составе серу. Химический состав любого топлива можно определить из справочной литературы [1]. В процессе сгорания (окисления) топлива образуются оксиды серы $SO_x = SO_2 + SO_3$, которые являются одними из наиболее вредных загрязнителей атмосферы. Диоксиды серы относятся к первой группе вредных выбросов, количество которых в продуктах сгорания топлива мало зависит от технологии его сжигания и достаточно точно может быть определено по известному составу и характеристикам топлива и топочного устройства. Как правило, объемная доля SO_2 составляет 97 – 99%, а доля SO_3 – 1 – 3% от суммарного выхода SO_x . Поэтому суммарное количество выбросов SO_x предлагается определять в пересчете на диоксид серы SO_2 .

В газообразном топливе практически нет соединений серы, поэтому в продуктах сгорания не содержится оксидов серы. В связи с удорожанием этого вида топлива, альтернативным топливом является каменный уголь, содержание серы в рабочем составе которого может достигать 2,8 – 3,1%. В случае замены природного газа каменным углем необходимо учитывать показатель экологической целесообразности такой замены. Таким показателем может быть массовая концентрация либо удельный массовый выброс SO_2 при сжигании одного килограмма топлива (м, г/с).

Недостаточное применение средств инструментального контроля концентрации вредных веществ в отходящих газах, в частности SO_2 , а также необходимость ее оценки на стадиях проектирования, реконструкции или модернизации топливоиспользующих установок обусловило использование различных расчетных методов [2 – 7], применение которых характеризуется различной степенью точности и громоздкости.

В связи с вышеизложенным ставилась задача разработать простой инженерный метод для определения ожидаемых выбросов оксидов серы в атмосферу при сжигании жидких и твердых видов органического топлива в топках энергетических котлов.

Основные результаты работы

Используя [1], для заданного вида топлива определяют теплоту сгорания рабочей массы топлива Q_n^p , МДж/кг; процентное содержание серы S^p ; теоретический объем воздуха V^0 ,

$\text{м}^3/\text{кг}$ и теоретический объем дымовых газов V_G^0 , $\text{м}^3/\text{кг}$. В зависимости от способа сжигания топлива и конструкции топочного устройства определяют также площадь сечения топки F , м^2 , коэффициенты избытка воздуха в топке α_T и в отходящих газах α_{BG} .

Объем продуктов сгорания в топке определяется по [1], $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$V_G = V_G^0 + 1,016 \cdot (\alpha_T - 1) \quad (1)$$

Далее определяют соотношения

$$S^* = S^p / V_G, \quad (2)$$

$$V^* = V^0 / V_G, \quad (3)$$

$$\beta = 7 \cdot S^* \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

$$\alpha^* = \alpha_T / \alpha_{BG}. \quad (5)$$

Тепловое напряжение сечения топки, $\text{МДж}/\text{м}^2$

$$q_F = \frac{B \cdot Q_n^p}{F}, \quad (6)$$

где B – секундный расход рабочего топлива.

После этого процентное содержание кислорода в продуктах сгорания r определяют из рис. 1, а процентное содержание SO_3 – из рис. 2 для номинальной мощности или паропроизводительности котла. Далее определяют величину коэффициента [3]:

$$A = (\beta - 0,01 \cdot \text{SO}_3) \cdot 10^3. \quad (7)$$

Удельный массовый выброс оксидов серы в атмосферу m , $\text{г}/\text{с}$ (при сжигании 1 $\text{кг}/\text{с}$ рабочего топлива) определяют при помощи номограммы, приведенной на рис. 3. В случае неполной загрузки котла, величину m домножают на величину [3]: $D^* = (D_i / D_n)^2$, или $Q^* = (Q_i / Q_n)^2$, где D_i и Q_i – текущий расход пара или мощность котла, а D_n и Q_n – номинальная паропроизводительность и мощность котла соответственно.

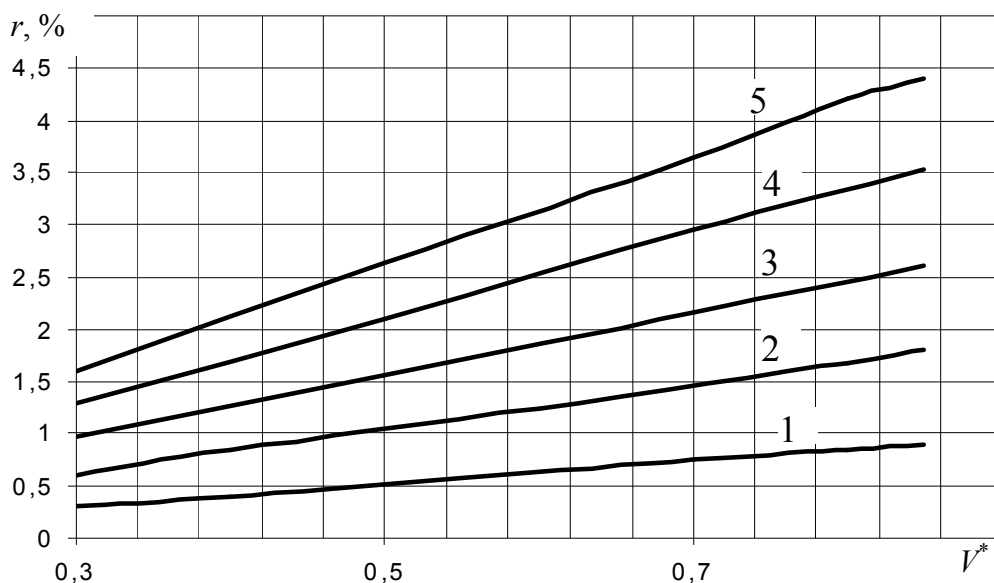


Рис. 1. Содержание избыточного воздуха в продуктах сгорания: 1 – $\alpha_T=1,05$; 2 – 1,1; 3 – 1,15; 4 – 1,2; 5 – 1,25

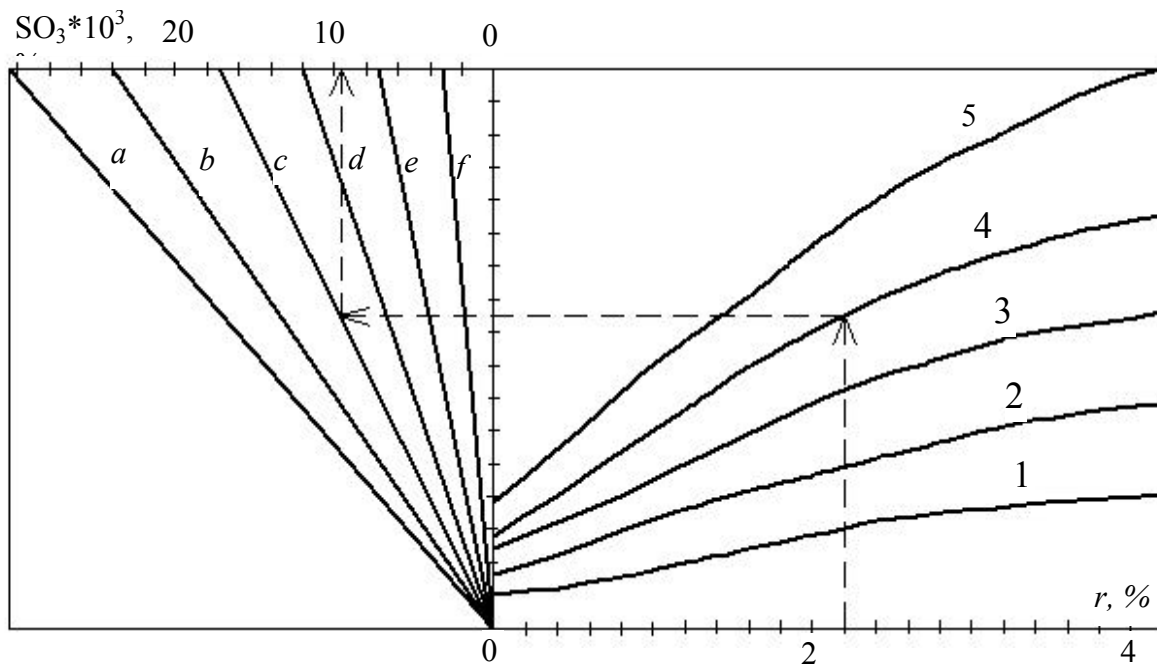


Рис. 2. Номограмма для определения процентного содержания SO_3 в продуктах сгорания: 1 – $\beta=0,5 \cdot 10^{-3}$; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 0,5; 5 – 4; а – $q_F=9 \text{ МВт/м}^2$; б – 7; с – 5; d – 3; e – 2; f – 1

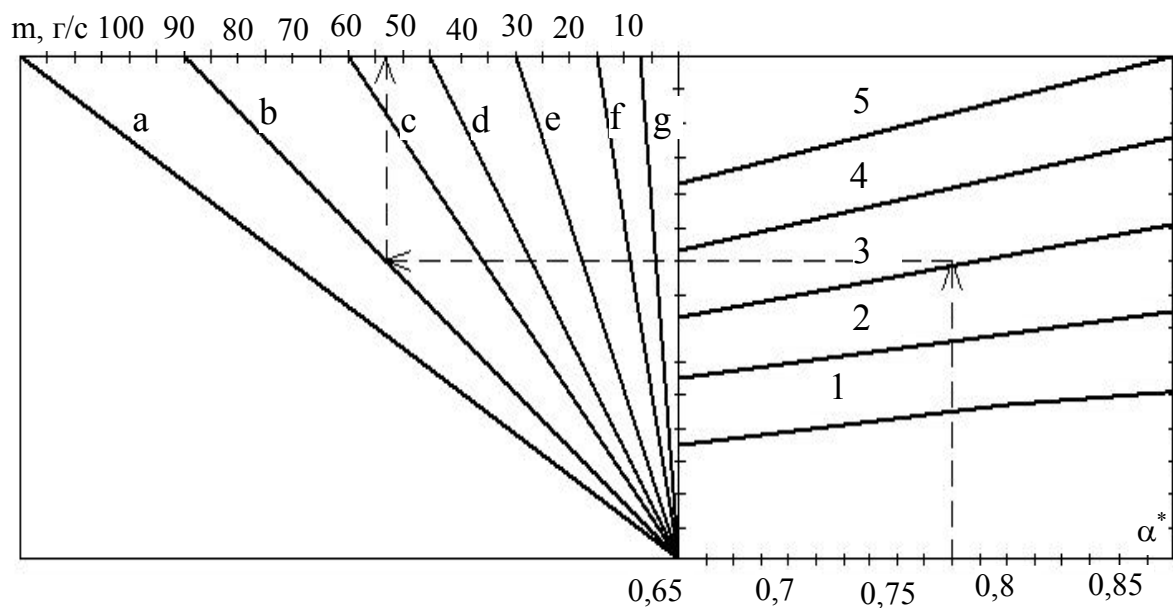


Рис. 3. Номограмма для определения удельного массового выброса оксидов серы в атмосферу: 1 – $V_{\Sigma}=4 \text{ м}^3/\text{кг}$; 2 – 6; 3 – 8; 4 – 10; 5 – 12; а – $A=4$; б – 3; с – 2; d – 1,5; e – 1; f – 0,5; g – 0,2

Пусть, например, в котле, который работает с номинальной мощностью, сжигают мазут с характеристиками: $Q_n^p = 38,97 \text{ МДж/кг}$; $S^p = 2,6\%$; $V^0 = 10,2 \text{ м}^3/\text{кг}$; $V_F^0 = 11 \text{ м}^3/\text{кг}$. При этом эксплуатационные показатели таковы: $\alpha_T = 1,05$, $\alpha_{\text{вг}} = 1,23$, $q_F = 8 \text{ МВт/м}^2$. Необходимо определить массовый выброс оксидов серы в атмосферу. На основании приведенных начальных данных по формулам (1) – (5) определяем: $V_F = 11,51 \text{ м}^3/\text{кг}$; $S^* = 0,226 \text{ кг}\cdot\%/ \text{м}^3$; $V^* = 0,886$; $\beta = 1,582 \cdot 10^{-3}$; $\alpha^* = 0,853$.

Из рис. 1 определяем: $r=0,95$; а из рис. 2 – $\text{SO}_3 \cdot 10^3 \approx 5$. Тогда величина A в формуле (7) составит 1,532, а величина m по номограмме на рис. 3 будет равна 44 г/с. Детальные расчеты

m по методике [3] дают результат $m=43,25$ г/с. Из приведенных данных видно, что относительная погрешность в определении m по предложенным номограммам составляет 1,7 %, что вполне удовлетворительно для инженерной практики.

Основными факторами, влияющими на массовый выброс оксидов серы, кроме S^p , являются коэффициент избытка воздуха в топке α_T и тепловое напряжение сечения топки q_F . Зависимости $m = f(\alpha_T)$ и $m = f_1(q_F)$ для высокосернистого мазута, характеристики которого указаны выше, и угля Межречненского месторождения Львовско-Волынского бассейна с характеристиками: $Q_n^p=21,56$ МДж/кг; $S^p=3,1\%$; $V^0=5,66$ м³/кг; $V_T^0=6,09$ м³/кг [1] – приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

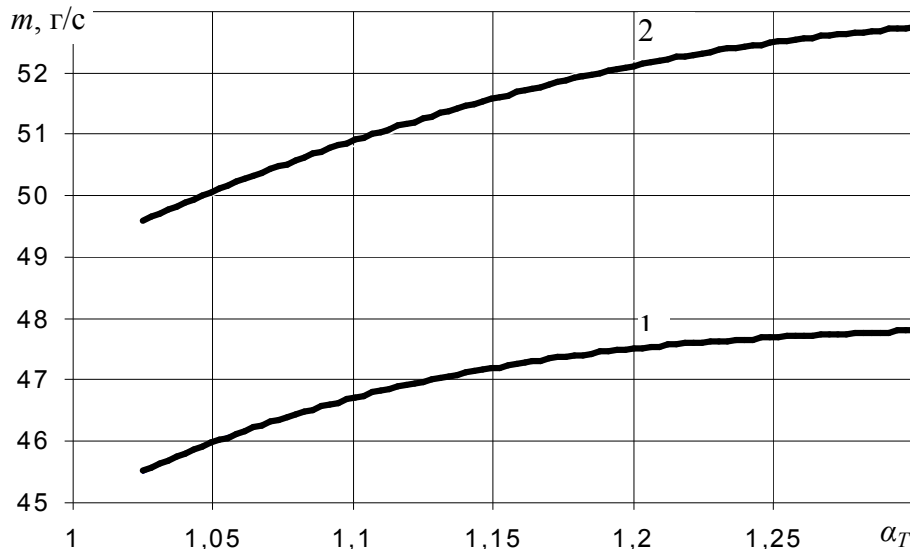


Рис. 4. Текущие значения массовых выбросов оксидов серы при условии, что $q_F=2$ МДж/м², а доля присосов воздуха равна $\Delta\alpha=0,2$; 1 – мазут; 2 – уголь

Из рис. 4 видно, что для одинаковых режимов сжигания топлива выбросы SO_2 при сжигании угля на 9 – 10% больше, чем при сжигании мазута. Это объясняется более высоким содержанием серы в рабочей массе топлива. Наибольшее влияние α_T на величину m наблюдается в диапазоне значений 1,05 – 1,15. Тут увеличение α_T на 0,1 приводит к увеличению массового выброса SO_2 на 2,8% для мазута и на 3,2 % для угля.

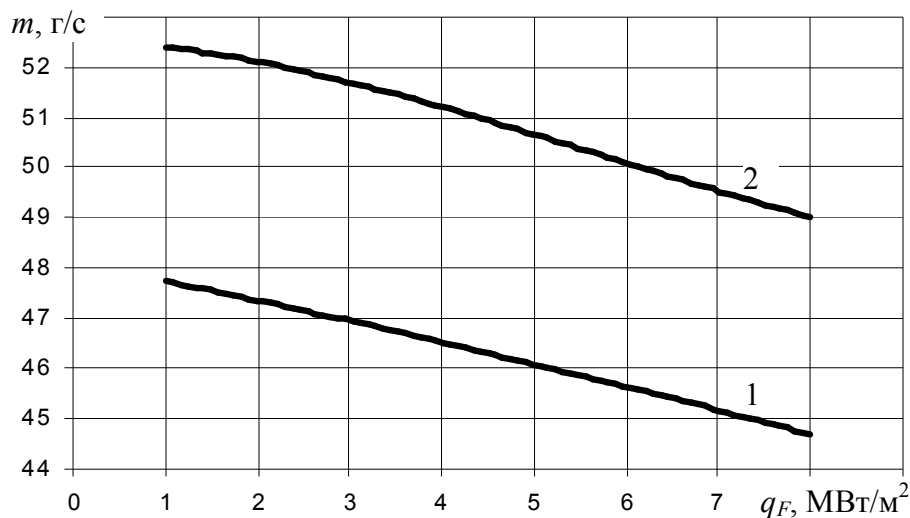


Рис. 5. Влияние q_F на массовый выброс SO_2 при условии $\alpha_T = 1,2$ и $\Delta\alpha = 0,2$; 1 – мазут; 2 – уголь

Зависимости, приведенные на рис. 5, свидетельствуют о том, что более форсированное сжигание топлива в топках способствует уменьшению выбросов оксидов серы. При увеличении q_F на 1 МДж/м^2 наблюдается уменьшение выбросов SO_2 в среднем на 1 % как в мазутных, так и пылеугольных топках.

Выводы

1. Построенные номограммы с достаточной для инженерной практики точностью позволяют определять ожидаемые выбросы оксидов серы в процессе сжигании мазута и угля в топках энергетических котлов.
2. Режимное уменьшение выбросов SO_2 достигается в случае снижения коэффициентов избытка воздуха в топке и более форсированном сжигании топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод: [техн. ред. Г. М. Каган] – СПб.: Изд.-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Волков Э. П. Источники, состав и контроль выбросов промышленных предприятий / Э. П. Волков, М. И. Сапаров, Е. И. Фетисова. М.: МЭИ, 1998. – 56 с.
3. Безгрешнов А. Н. Расчет паровых котлов в примерах и задачах / А. Н. Безгрешнов, Ю. М. Липов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240 с.
4. Внуков А. К. Защита атмосферы от выбросов энергообъектов. Справочник / А. К. Внуков. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 276 с.
5. Росляков П. В. Расчет вредных выбросов в атмосферу / П. В. Росляков, Л. Е. Егорова, И. Л. Ионкин. – М.: МЭИ, 2002. – 184 с.
6. Контроль вредных выбросов ТЭС в атмосферу / П. В. Росляков, И. Л. Ионкин, И. А. Закиров. Под ред. П. В. Рослякова. – М.: МЭИ, 2004. – 284 с.
7. Росляков П. В. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П. В. Росляков. – М.: МЭИ, 2007. – 336 с.

Чепурной Марк Николаевич – к. т. н., профессор кафедры теплоэнергетики института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Боднар Лилия Анатольевна – к. т. н., старший преподаватель кафедры теплоэнергетики института строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Янковская Елена Михайловна – студентка группы ТЕми-11, институт строительства, теплоэнергетики и газоснабжения.

Винницкий национальный технический университет.