

*В.В. Стерлигов, Д.О. Мигель, Р.О. Мигель*

**Сибирский государственный индустриальный университет**

## **УЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ ТЭЦ**

Экологические проблемы чрезвычайно актуальны как для отдельного предприятия или всего промышленного комплекса страны, так и для Земли в целом. Развитие промышленности – результат научно-технического прогресса и производственной деятельности людей. С другой стороны, промышленность – это основной потребитель природных ресурсов и мощный источник загрязнения.

Парниковый эффект заключается в регистрируемом из космоса повышении температуры нижних слоев атмосферы Земли в сравнении с эффективной температурой, а именно температурой теплового излучения планеты. Первые упоминания об этом явлении появились еще в 1827 г.: Жозеф Фурье высказал предположение о том, что оптические характеристики атмосферы Земли аналогичны характеристикам стекла, уровень прозрачности которого в инфракрасном диапазоне ниже, чем в оптическом [1]. При поглощении видимого света температура поверхности повышается и возникает тепловое (инфракрасное) излучение, и, так как для теплового излучения атмосфера не прозрачна, это тепло собирается у поверхности планеты и со временем повышается ее температура.

Тот факт, что атмосфера способна не пропускать тепловое излучение, вызван присутствием в ней “парниковых” газов, которые состоят, в основном, из углекислого газа, метана, оксида азота (I), гексафторида серы, перфторуглеродов и гидрофторуглеродов [2]. На протяжении последних десятилетий концентрация парниковых газов в атмосфере сильно увеличилась и основной причиной ученые считают человеческую деятельность. Наибольший вклад вносит диоксид углерода CO<sub>2</sub> (70 % диоксида углерода антропогенного происхождения) [3]. Источником диоксида углерода является углеводородное топливо, используемое при сжигании для различных целей: CO<sub>2</sub> образуется при окислении углерода кислородом. Главная

опасность парникового эффекта заключается в вызываемых им изменениях климата. Ученые считают, что усиление парникового эффекта становится и причиной увеличения рисков для здоровья всего человечества. Прежде всего, страдают представители малообеспеченных слоев населения. Уменьшение производства продуктов питания, которое является последствием гибели посевов и уничтожения пастбищ засухой или, наоборот, затоплениями, неизбежно приведет к нехватке продуктов [4]. Кроме этого, повышенная температура воздуха вызывает обострение сердечных и сосудистых заболеваний, органов дыхания. Рост температуры воздуха может стать причиной расширения ареала обитания животных тех видов, которые являются переносчиками опасных болезней. Из-за этого, к примеру, энцефалитные клещи и малярийные комары могут переселиться в места, где у людей отсутствует иммунитет к переносимым ими заболеваниям.

Основные поставщики парниковых газов – промышленные предприятия, которые являются крупнейшими потребителями энергоресурсов: на их долю приходится до 50 % энергопотребления в стране [1]. Половина потребляемого промышленностью топлива и более трети электроэнергии преобразуется на специальных установках в энергетический потенциал разнообразных энергоносителей (теплоту пара и горячей воды; энергию сжатого воздуха, кислорода и т.п.), применяемых в технологических комплексах предприятия. Остальная часть топлива и электроэнергии используется непосредственно в технологических комплексах. Представление о потреблении энергоресурсов в различных сферах показано в табл. 1.

Общие тенденции в отношении различных отраслей экономики одинаковы для всех стран,

Т а б л и ц а 1

### **Основные направления использования энергии в мире [5]**

Страна	Количество использованной энергии, %, по направлению			
	транспорт	промышленность	выработка электроэнергии	быт
Россия	8	45	25	24
США	27	23	37	13
Великобритания	20	34	30	15
Китай	3	69	18	10
Япония	20	49	20	9

**Структура энергопотребления России отраслями промышленности [5]**

Вид промышленности	Энергопотребление, %
Промышленность	42,0
в том числе	
металлургия	17,0
машиностроение и металлообработка	6,0
химическая промышленность	5,0
газовая промышленность	2,5
строительная промышленность	2,8
энергетика	4,7
нефтехимическая промышленность	4,0
Транспорт	13,5
Сельское хозяйство	12,5
Коммунальное хозяйство	32,0

отклонение значений в каждом кластере относительно невелико от усредненных значений [5]. Подробнее структура энергопотребления России представлена в табл. 2.

В настоящий момент в РФ действуют нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ для котельных установок, регламентированные ГОСТ Р 50831 – 95 [6], в котором указаны нормативы удельных выбросов для вновь вводимых котельных установок, но нет показателей для действующих установок, введенных до 2000 г. Таким образом, для большей части работающего парка котельных установок не установлены нормативы удельных выбросов. Анализ существующего состояния котельных установок, сжигающих уголь, газ, мазут, показывает большой диапазон значений удельных выбросов загрязняющих веществ. Эти различия могут быть объяснены влиянием на работу котельной установки различных факторов: паропроизводительности котельной установки; сроков эксплуатации котлов (и, соответственно, их технического состояния); структуры сжигаемого топлива; качества сжигаемого топлива; различных объемов внедренных мероприятий по подавлению образования оксидов азота (или их отсутствия), иных факторов.

Норматив удельного выброса загрязняющего вещества в атмосферу для котлоагрегата ТЭЦ может быть рассчитан: на единицу вводимого в топку тепла, г/МДж; на тонну условного топли-

ва, кг/т у.т.; на единицу объема дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу (при стандартном коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,4$  и нормальных условиях (температуре 0 °С, давлении 101,3 кПа), мг/м<sup>3</sup> [7].

К котельным установкам, вводимым в эксплуатацию после 2013 г., предъявляются нормативные требования, указанные в табл. 3 – 5.

На основе нормативных данных проведены расчеты для котельного агрегата ТП-87. Такие котлы установлены на II очереди «Западно-Сибирской ТЭЦ АО ЕВРАЗ ЗСМК». Основные показатели работы котельного агрегата ТП-87 приведены в табл. 6.

Расчет массовой концентрации оксида азота проводится по формуле [7]:

$$M_j = c_j V_{c,r} B_p k_n,$$

где  $c_j$  – массовая концентрация загрязняющего вещества  $j$  в сухих дымовых газах при стандартном коэффициенте избытка воздуха  $\alpha_0 = 1,4$  и нормальных условиях, мг/м<sup>3</sup>;  $V_{c,r}$  – объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании 1 кг (1 м<sup>3</sup>) топлива;  $B_p$  – расчетный расход топлива (при определении выбросов в г/с берется в т/ч (тыс. м<sup>3</sup>/ч), в тоннах за отчетный период – берется в т/год, т/квартал, т/мес (тыс. м<sup>3</sup>/год, тыс. м<sup>3</sup>/квартал, тыс. м<sup>3</sup>/мес);

**Предельные значения концентрации твердых частиц для котельных установок при использовании твердых и жидких топлив (за исключением газовых турбин и газовых двигателей), которые будут действовать после 01.01.2016 г. [8]**

Тепловая мощность котельной установки, МВт	Предельные значения концентраций твердых частиц, мг/м <sup>3</sup>
50 – 300	20
>300	10

Т а б л и ц а 4

**Предельные значения концентрации ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) твердых частиц для котельных установок, сжигающих твердое или жидкое топливо (кроме газовых турбин и газовых двигателей), которые будут действовать после 01.01.2016 г. [8]**

Тепловая мощность установки, МВт	Предельная концентрация вредных частиц, $\text{мг}/\text{м}^3$		
	Каменный и бурый уголь, др. твердое топливо	Биомасса и торф	Жидкое топливо
50 – 100	30	30	30
100 – 300	25	20	25
>300	20	20	20

Т а б л и ц а 5

**Предельные значения концентрации оксидов азота для котельных установок при использовании твердых и жидких топлив (за исключением газовых турбин), которые будут действовать после 01.01.2016 г. [8]**

Тепловая мощность котельной установки, МВт	Предельная концентрация вредных частиц, $\text{мг}/\text{м}^3$		
	Уголь и другие твердые топлива	Биомасса и торф	Жидкое топливо
50 – 100	300 – каменный уголь 400 – бурый уголь	250	300
100 – 300	200	200	150
>300	150 200 – бурый уголь	150	100

Т а б л и ц а 6

#### Основные показатели работы котельного агрегата ТП-87

Показатель	Значение показателя
Тип котла	ТП-87
Максимальная нагрузка, т/ч	420
Средняя нагрузка в течение года, т/ч	370
Сжигаемое топливо	Природный газ, уголь
Сорт угля	Кузнецкий тощий
Максимальная доля угля по теплу при максимальной нагрузке	0,2
Средняя в течение года доля угля (по теплу)	0,08
Расход топлива при максимальной нагрузке, т у.т./ч	40,0
Расход топлива при средней нагрузке, т у.т./ч	35,5
Годовой расход топлива на котел, т у.т.	213000

$k_n$  – коэффициент пересчета (при определении выбросов в г/с  $k_n = 0,278 \times 10^{-3}$ ; в тоннах  $k_n = 10^{-6}$ , при этом расход топлива  $V_p$  берется в т у.т./ч для определения максимальных выбросов и в т.у.т за отчетный период (для определения валовых выбросов) [7]. Экспериментальные зависимости концентрации оксидов азота  $\text{NO}_x$  от нагрузки котла для случаев раздельного сжигания угля и газа представлены на рис. 1. Зависимость концентрации оксида углерода  $\text{CO}_2$  представлена на рис. 2.

Наибольшее количество выбросов ТЭЦ в атмосферу происходит во время пиковой нагрузки котельного агрегата. Эта проблема особенно актуальна в зимнее время, когда требуется увели-

чение нагрузки для отопления жилого фонда. Кроме того, работа на пиковых параметрах может возникать при нестационарных ситуациях или во время аварий при выходе из строя технологического оборудования. В этих ситуациях вся нагрузка распределяется на резервное оборудование. Основное оборудование в кратчайший срок должно было выведено на режимные параметры. В качестве резерва было бы рационально использовать газотурбинные установки. Главное достоинство таких установок – минимальные выбросы вредных веществ в атмосферу. Снижению выбросов в последнее время уделяется все больше внимания.

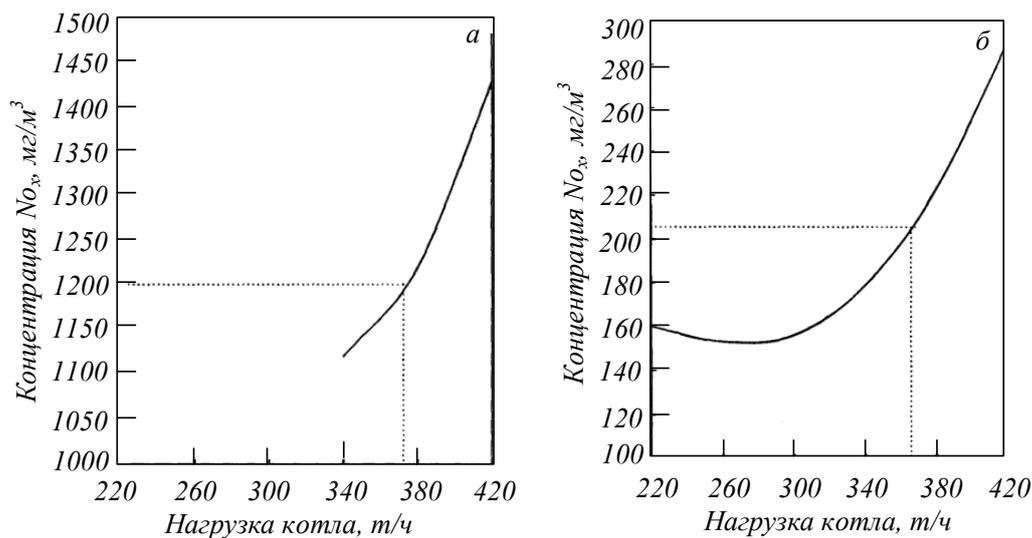


Рис. 1. Зависимость концентрации оксидов азота от нагрузки котла при сжигании угля (а) и газа (б)

Рассмотрим влияние выбросов на здоровье человека. Известно, что наибольшее антропогенное воздействие топливно-энергетических комплексов на окружающую среду оказывают вещества, выбрасываемые с дымовыми газами ТЭЦ и со сточными водами [9, 10]. Дополнительным аргументом является то, что наибольший вред человеку наносят вещества, попадающие в организм человека через дыхательные пути (до 68 % болезней человечества). Следует отметить, что определить влияние каждого отдельного вещества в общей гамме загрязнителей атмосферы чрезвычайно сложно. Это обстоятельство затрудняет и без того непростую проблему оценки воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду.

**Выводы.** Приведенные данные по выделению и влиянию отдельных выбросов показывают реальное воздействие предприятия (ТЭЦ и всей теплоэнергетики) на экологию региона. Необходимо исследование влияния различных факторов рабо-

ты ТЭЦ (вида топлива, нагрузки, стабильности работы и др.) на экологию региона и экономику производства. Но задача экология – экономика выводит исследование на макроуровень и может быть решена путем большой и скоординированной работы большой группы исследователей. В конечном счете такая информация должна быть отражена в технических картах работы котлов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Причины, проблемы и последствия парникового эффекта. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mining-prom.ru/toplivodob/geotermiya/parnikovyy-effekt/> (Дата обращения 17.02.2019).
2. Киотский протокол к рамочной конференции организации объединенных наций об изменении климата. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12131392> (Дата обращения 17.02.2019).

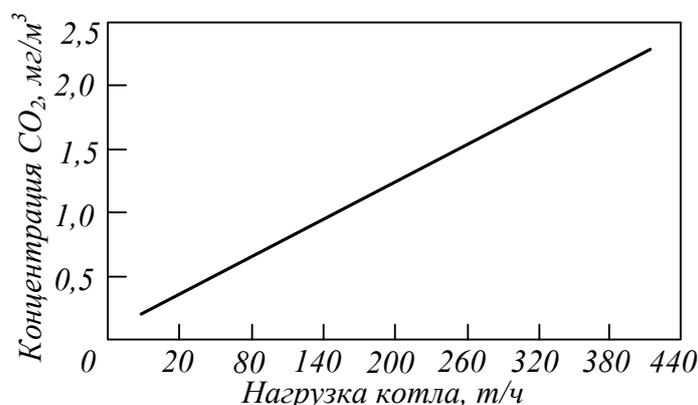


Рис. 2. Зависимость концентрации углекислого газа от нагрузки котла

3. Экобаланс. Независимая экологическая экспертиза. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekobalans.ru/investigations/uglekisluijgas> (Дата обращения 18.02.2019).
4. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами роста. – М.: Прогресс, 1994. – 303 с.
5. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев В.Г. Хрестоматия энергосбережения: справочное издание. В 2 кн. Кн. 1. / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2010. – 688 с.
6. ГОСТ Р 50831 – 95. Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200026436> (Дата обращения 17.02.2019).
7. РД 34.02.305 – 98. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://snipov.net/c\\_4691\\_snip\\_103942](http://snipov.net/c_4691_snip_103942) (Дата обращения 17.02.2019).
8. Нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://urist-edu.ru/akts/66609/index.html> (Дата обращения: 17.02.2019).
9. Пугач Л.И. Энергетика и экология: учебное пособие. – Новосибирск: изд. НГТУ, 1999. – 197 с.
10. Гаврилов Е.И., Гуглина Л.Л., Покровская Л.С., Васильев К.М., Васильева Н.О., Берснев А.П., Микушевич В.М., Шумило Т.И., Земчихин Н.Н., Сердюков В.А. Экологический мониторинг Рязанской ТРЭС // Теплоэнергетика. 1999. № 5. С. 44 – 53.
11. Пугач Л.И. Проблемы рационального использования канско-ачинских углей на ТЭС. – Новосибирск: изд. НЭТИ, 1992. – 215 с.
12. Яворский И.А. О путях предотвращения выбросов оксидов азота технологическими методами сжигания твердых топлив // Теплоэнергетика. 1995. № 2. С. 17 – 23.

© 2019 г. *В.В. Стерлигов, Д.О. Мигель, Р.О. Мигель*  
Поступила 25 февраля 2019 г.