

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра химической технологии твердого топлива

**РАСЧЕТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
В АТМОСФЕРУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ СООТВЕТСТВИЯ
САНИТАРНЫМ НОРМАМ.
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ**

Методические указания к выполнению курсовой работе по дисциплине
«Экологические методы и системы очистки на предприятиях
теплоэнергетики»
для студентов специальности 140104 – «Промышленная теплоэнергетика»

Составители Г.В. Ушаков
А.Г. Ушаков

Утверждены на заседании кафедры
Протокол № от . .2014

Рекомендованы к печати
учебно-методической
комиссией специальности 140104
Протокол № от . .2014

Электронная копия находится
в библиотеке ГУ КузГТУ

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия тепловой энергетики, потребляя свыше трети добываемого в виде топлива, оказывают существенное влияние как на окружающую среду в районе их расположения, так и на общее состояние биосферы. Их взаимодействие с внешней средой определяется выбросами в атмосферу дымовых газов, тепловыми выбросами и выбросами загрязненных сточных вод.

При сжигании твердого топлива наряду с окислами основных горючих элементов – углерода и водорода в атмосферу поступают летучая зола с частицами несгоревшего топлива, сернистый и серный ангидриды, окислы азота, некоторое количество фтористых соединений, а также газообразные продукты неполного сгорания топлива. При сжигании сернистых мазутов с дымовыми газами в атмосферу поступают сернистый и серный ангидриды, окислы азота, газообразные и твердые продукты неполного сгорания, соединения ванадия, соли натрия, а также отложения, удаляемые с поверхностей нагрева котлов при чистке. Большинство этих компонентов относятся к числу токсичных и даже в сравнительно невысоких концентрациях оказывают вредное воздействие на природу и человека.

В условиях предприятий теплоэнергетики состояние окружающей среды зависит от вида используемого топлива и организации его сжигания, работы пылегазоулавливающих установок, устройств для эвакуации дымовых газов в атмосферу, организации эксплуатации оборудования и других условий, связанных с организацией работы энергетических установок. Поэтому специалисты по промышленной теплоэнергетике должны не только иметь представления о важности предпринимаемых мер по охране среды, но и должны уметь определить количество вредных выбросов на предприятии, концентрации вредных веществ, создаваемыми этими выбросами в атмосферном воздухе, правильно выбирать оборудование для очистки дымовых газов и обеспечивать рациональную его эксплуатацию с точки зрения снижения до минимума внешних выбросов, уметь контролировать состояние окружающей среды.

1. ТЕМА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Тема курсовой работы является единой для всех студентов группы и называется «Расчет вредных выбросов котельной установки в атмосферу, определение их соответствия санитарным нормам. Разработка мероприятий по снижению выбросов». Сущность работы заключается в том, что с использованием исходных данных и результатов, полученных при выполнении курсового проекта по специальной дисциплине «Котельные установки и парогенераторы», студент в настоящей курсовой работе:

1. Определяет:

– объемные расходы дымовых газов образующихся при сжигании топлива в топках котлов и выбрасываемых в атмосферу через дымовую трубу;

– массовые количества летучей золы, оксидов серы, оксидов азота, оксида углерода, образующиеся в топках котлов и выбрасываемые в атмосферу с дымовыми газами;

– массовые количества золы и шлака, образующиеся при сжигании топлива и удаляемые на золоотвал.

– максимальные допустимые выбросы перечисленных загрязнителей из дымовой трубы с учетом фоновых концентраций и эффекта суммации их вредного действия.

2. Рассчитывает концентрации перечисленных загрязнителей в дымовых газах и их распределение в атмосфере.

3. Проверяет соответствие полученных значений фактических выбросов их максимальным допустимым значениям.

4. В случае превышения фактическими выбросами максимально допустимых значений рассчитывает высоту дымовой трубы, при которой будет обеспечено их соответствие.

5. Выполняет расчет установки по очистке газовых выбросов, сточных вод или удалению золы и шлака.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа должна содержать следующие разделы: содержание, введение, основная часть, заключение или выводы, список используемой литературы.

Введение должно содержать цель и задачи, раскрываемые работе и возможные пути их решения.

В разделе 1 основной части работы приводятся результаты расчетов содержания загрязняющих веществ, выбрасываемых с дымовыми газами в атмосферу, количества образующихся твердых продуктов сгорания, удаляемых в золоотвал.

В разделе 2 приводятся результаты расчетов концентрации загрязнителей в дымовых газах и их распределение в атмосфере, нормативы максимально допустимых выбросов загрязнителей из дымовой трубы с учетом фоновых концентраций и эффекта суммации их вредного действия. В этом же разделе проверяется соответствие полученных значений фактических выбросов их максимальным допустимым значениям и делается вывод о соответствии величины выбросов санитарно-гигиеническим нормам.

В разделе 3 приводятся расчеты высоты дымовой трубы в случае превышения фактических выбросов их максимальных допустимых значений и делается вывод о возможности практической реализации данного

направления достижения санитарно-гигиенических требований. В случае, когда выбросы из трубы соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям, расчеты по разделу 3 в курсовой работе не проводятся.

В разделе 4 настоящей работы приводятся результаты выбора и обоснования процессов очистки дымовых газов от летучей золы, оксидов азота или серы, очистки сточных вод предприятия теплоэнергетики, золоудаления, схема этих процессов, результаты расчета основного оборудования и эскиз основного очистного аппарата. Для этого по результатам разделов 1-3 основной части курсовой работы студент получает задание на проведение технологической части работы, в котором указывается объект, подвергаемый очистке или утилизации (дымовые газы, сточные воды, зола и шлак) и удаляемый загрязнитель (летучая зола, оксиды азота или серы, зола и шлак).

3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1. Общие требования

Курсовая работа выполняется на листах формата А4 и оформляется в соответствии с едиными требованиями для такого типа самостоятельных работ. Работа готовится в единственном экземпляре в рукописном, машинописном вариантах или может быть набрана на компьютере. Готовая работа сдается преподавателю, ведущему курс, для предварительной проверки. Если работа выполнена в соответствии с вышеописанными требованиями, она защищается.

Курсовая работа содержит: титульный лист, введение, разделы основной части, заключение и список использованной литературы. Титульный лист должен содержать: название министерства, название университета, название кафедры, название курсовой работы, ФИО студента, ФИО преподавателя – руководителя работы, город и год написания.

Общий объем курсовой работы должен составлять не менее 17–19 страниц текста с обязательной их нумерацией. Должны быть выполнены все графические требования к оформлению страниц, графиков, диаграмм.

Вся работа должна быть аккуратно сшита или переплетена.

3.2. Требования к оформлению основной части работы

Текст основной части курсовой работы делят на разделы, подразделы, пункты. Заголовки разделов печатают симметрично тексту прописными буквами. Заголовки подразделов печатают с абзаца строчными буквами (кроме первой прописной). Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Точку в конце заголовка не ставят.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2-м интервалам. Подчеркивание заголовки не допускается. Каждый раздел следует начинать с новой страницы.

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах всей работы и должны обозначаться арабскими цифрами с точкой в конце. Введение и заключение не нумеруются.

Подразделы нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела должна быть точка, например: "2.3." (третий подраздел второго раздела).

Пункты нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого подраздела. Номер пункта состоит из номеров раздела, подраздела, пункта, разделенных точками. В конце номера должна быть точка, например: "1.1.2." (второй пункт первого подраздела первого раздела).

Страницы работы нумеруют арабскими цифрами. Титульный лист включают в общую нумерацию работы. На титульном листе номер не ставят, на последующих страницах номера проставляют в середине листа.

Ссылки в тексте на литературные источники приводятся путем указания их порядковых номеров по списку источников, выделенных квадратными скобками.

3.3. Требования к иллюстрациям

Иллюстрации (таблицы, чертежи, схемы, графики), которые расположены на отдельных страницах отчета, включают в общую нумерацию страниц. Таблицу, рисунок или чертеж, размеры которого превышают формат А4, учитывают как одну страницу. Листы формата более А4 помещают в конце отчета после заключения в порядке их упоминания в тексте.

Иллюстрации (кроме таблиц) обозначаются словом "Рис." и нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах раздела, за исключением иллюстраций, приведенных в приложении. Номер иллюстрации (за исключением таблиц) должен состоять из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например: "Рис. 1.2" (второй рисунок первого раздела). Номер иллюстрации помещают ниже поясняющей подписи. Если в работе приведена одна иллюстрация, то ее не нумеруют и слово "Рис." не пишут.

На все рисунки должны быть ссылки в тексте. При этом слово "Рисунок" в тексте пишут полностью, если рисунок не имеет номера, и сокращенно – если имеет номер, например: "... на рис.. 1.2). В повторных ссылках на рисунок следует указывать сокращенно слово "смотри", например: см. рис. 1.3". Ссылки на рисунки указывают порядковым номером рисунка.

3.4. Требования к таблицам

Таблицы нумеруют последовательно арабскими цифрами (за исключением таблиц, приведенных в приложении) в пределах раздела. В правом верхнем углу таблицы над соответствующим заголовком помещают надпись "Таблица" с указанием номера таблицы. Номер таблицы должен состоять из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой, например: "Таблица 1.2" (вторая таблица первого раздела). Если в работе одна таблица, ее не нумеруют и слово "Таблица" не пишут.

Каждая таблица должна иметь заголовок. Заголовок и слово "Таблица" начинают с прописной буквы. Заголовок не подчеркивают. Таблицу размещают после первого упоминания о ней в тексте таким образом, чтобы ее можно было читать без поворота работы или с поворотом по часовой стрелке.

Таблицу с большим количеством строк допускается переносить на другой лист. При переносе таблицы на другой лист (страницу) заголовок помещают только над ее первой частью. Таблицу с большим количеством граф допускается делить на части и помещать одну часть под другой в пределах одной страницы. Если строки или графы таблицы выходят за формат таблицы, то в первом случае в каждой части таблицы повторяется ее головка, во втором случае – боковик.

При переносе части таблицы на другой лист (страницу) слово "Таблица" и номер ее указывают один раз справа над первой частью таблицы; над другими частями пишут слово "Продолжение". Если в отчете несколько таблиц, то после слова "Продолжение" указывают номер таблицы, например: "Продолжение табл. 1.2".

Заголовки граф таблиц должны начинаться с прописных букв, подзаголовки – со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком, и с прописных, если они самостоятельные. Делить головки таблицы по диагонали не допускается. Графу "№ п/п." в таблицу включать не следует.

Если повторяющийся в графе таблицы текст состоит из одного слова, его допускается заменять кавычками; если из двух или более слов, то при первом повторении его заменяют словами "То же", а далее – кавычками. Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков, математических и химических символов не допускается. Если цифровые или иные данные в какой-либо строке таблицы не приводят, то в ней ставят прочерк.

На все таблицы должны быть ссылки в тексте. При этом слово "Таблица" в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно – если имеет номер, например: "... в табл. 1.2). В повторных ссылках на таблицы и иллюстрации следует указывать сокращенно слово

"смотри", например: см. табл. 1.3".

3.5. Требования к формулам

Формулы в работе (если их более одной) нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например: (3.1) (первая формула третьего раздела).

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов в формуле следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слова "где" без двоеточия.

Уравнения и формулы следует выделять из текста свободными строками. Выше и ниже каждой формулы должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не уместится в одну строку, оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков (+), минус (-), умножение (x) и деление (:).

Ссылки на формулы указывают порядковым номером формулы в скобках, например "... в формуле (2.1)".

3.6. Требования к приложениям

Примечания к тексту и таблицам, в которых указывают справочные и поясняющие данные, нумеруют последовательно арабскими цифрами. Если примечаний несколько, то после слова "Примечания" ставят двоеточие, например:

Примечания:

1. ...

2. ...

Если имеется одно примечание, то его не нумеруют и после слова "Примечание" ставят точку.

Список использованных источников должен содержать перечень книг, статей, различных документов, исследований других авторов и т. п., использованных при выполнении работы. Источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте работы.

Приложения оформляют как продолжение работы на последующих его страницах или в виде отдельной части (книги), располагая их в порядке появления ссылок в тексте.

Каждое приложение начинается с нового листа (страницы) с указанием в правом верхнем углу слова "ПРИЛОЖЕНИЕ", напечатанного прописными буквами, и имеет содержательный заголовок.

Если в работе более одного приложения, их нумеруют последовательно арабскими цифрами (без знака №), например, ПРИЛОЖЕНИЕ 1, ПРИЛОЖЕНИЕ 2 и т. д.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на подразделы и пункты, нумеруемые арабскими цифрами в пределах каждого приложения, перед ними ставится буква "П", например "П. 1.2.3" (третий пункт второго подраздела первого приложения).

Рисунки, таблицы и формулы, помещаемые в приложении, нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого приложения, например: "Рис. П. 1.1" (первый рисунок первого приложения); "Табл. П. 1.1" (первая таблица первого приложения).

4. РАБОТА С ЛИТЕРАТУРНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Требуемая для выполнения расчетов и написания курсовой работы научно-техническая литература подбирается студентом самостоятельно. Источниками литературы являются: областная научно-техническая библиотека, библиотека КузГТУ, центральная научно-техническая библиотека, библиотеки промышленных предприятий и организаций, техническая и технологическая документация (технологические регламенты, научно-технические отчеты и др.). Важным источником информации могут быть данные, помещенные на сайтах Интернета. Следует пользоваться научной, теоретической и технической литературой, а не научно-популярной.

5. МЕТОДИКИ РАСЧЕТОВ

5.1. Расчет объема сухих дымовых газов

Объем сухих дымовых газов при нормальных условиях рассчитывается по уравнению, $\text{нм}^3/\text{кг}$:

$$V_{\sigma} = V_2^0 + (\alpha - 1)V^0 - V_{H_2O}^0,$$

где V_0 , V_2^0 и $V_{H_2O}^0$ – соответственно объем воздуха, дымовых газов и водяных паров при стехиометрическом сжигании одного килограмма (1 нм^3) топлива, $\text{нм}^3/\text{кг}$ ($\text{нм}^3/\text{нм}^3$); α – коэффициент избытка воздуха, определяется по формуле

$$\alpha = \alpha_m + \Delta\alpha_{nn} + \Delta\alpha_{\vartheta} + \Delta\alpha_{\text{вн}},$$

где α_m – коэффициент избытка воздуха в топке. Выбирается в зависимости от типа топки, вида и сорта топлива (для слоевых топок $\alpha_m = 1, 2 \dots 1,6$); $\Delta\alpha_{nn}$, $\Delta\alpha_{\vartheta}$, $\Delta\alpha_{\text{вн}}$ – присосы воздуха в газоходы котельного агрегата, соответственно пароперегревателя, экономайзера, воздухоподогревателя. Значения присосов воздуха представлены в табл.

5.1.

Таблица 5.1

Присосы воздуха в газоходы котельного агрегата

Газоходы	Обозначение	Величина
Пароперегревателя	$\Delta\alpha_{пн}$	0,05
Экономайзера: змеевикового	$\Delta\alpha_э$	0,05
чугунного		0,10
Воздухоподогревателя: пластинчатого	$\Delta\alpha_{ен}$	0,10
трубчатого		0,05
чугунного		0,20

Объемы воздуха, водяных паров и дымовых газов при сжигании твердого и жидкого топлива определяют по химическому составу сжигаемого топлива по формулам

$$V^0 = 0,0889(C^m + 0,375S_{опг}^m) + 0,265H^m - 0,0333O^m;$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,111H^m + 0,0124W^m + 0,0161V^0;$$

$$V_2^0 = V_{RC_x} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 = 1,866 \frac{C^m + 0,375S_{опг}^m}{100} + 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^m}{100} + V_{H_2O}^0,$$

где C^m , $S_{опг}^m$, H^m , O^m , N^m – соответственно содержание углерода, серы (органической и колчеданной), водорода, кислорода и азота в рабочей массе топлива, %; W^2 – влажность рабочей массы топлива, %.

Для газообразного топлива расчет выполняется по формулам

$$V^0 = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right];$$

$$V_{H_2O}^0 = 0,01 [H_2 + H_2S + \sum n C_m H_n + 0,124d_m] + 0,0161V^0;$$

$$V_2^0 = 0,01 [CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n] + 0,79V^0 + \frac{N_2}{100} + V_{H_2O}^0,$$

где CO , CO_2 , H_2 , H_2S , $C_m H_n$, N_2 , O_2 – соответственно, содержание оксида углерода, водорода, сероводорода, углеводородов, азота и кислорода в исходном топливе, %; m и n – число атомов углерода и водорода соответственно; d_m – влагосодержание газообразного топлива, отнесенное на 1 нм³ сухого газа, г/нм³.

5.2. Расчет выбросов твердых частиц

5.2.1. Выбросы твердых частиц с дымовыми газами из котлов малой мощности (паровые котлы паропроизводительностью до 30 т/ч и водогрейные котлы мощностью до 30 Гкал/ч)

К котлам малой мощности относятся промышленные и коммунальные котлоагрегаты бытовые теплогенераторы (малолитражные отопительные котлы, отопительно-варочные аппараты, печи и т. п.).

Расчет выбросов твердых частиц летучей золы и недогоревшего топлива (т/год, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата при сжигании твердого топлива и мазута, выполняется по формуле

$$P_{тв} = BA^P \chi(1 - \eta),$$

где B – расход топлива, т/год, г/с; η – зольность топлива, %; χ – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях; χ – вспомогательная величина.

Вспомогательная величина определяется по формуле

$$\chi = \alpha_{ун} / (100 - \Gamma_{ун}),$$

где $\alpha_{ун}$ – доля золы топлива в уносе, %; $\Gamma_{ун}$ – содержание горючего в уносе, %.

Значения A^P определяется по характеристикам сжигаемого топлива, η – по техническим данным применяемых золоуловителей, χ – по табл. 5.2

Таблица 5.2

Значения коэффициента χ и K_{CO}

Тип топки	Топливо	χ	K_{CO} , кг/ГДж
С неподвижной решеткой и ручным забросом топлива	Бурые и каменные угли	0,0023	1,9
	Антрациты:		
	- АС и АМ	0,0030	0,9
	- АРШ	0,0078	0,8
С пневмомеханическими за брасывателями и неподвижной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0026	0,7
	и Антрацит АРШ	0,0088	0,6
С цепной решеткой прямого хода	Антрацит АС и АМ	0,0020	0,4
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035	0,7
			- шахтная

Тип топки	Топливо	χ	K_{CO} , кг/ГДж
- шахтно-цепная	Твердое топливо	0,0019	1
- наклонно-переталкивающая	Торф кусковой	0,0019	2,9
- слоевые топки бытовых теплоагрегатов	Эстонские сланцы	0,0025	14
	Дрова	0,0050	16
	Бурые угли	0,0011	7
	Каменные угли	0,0011	3
	Антрацит, тощие угли	0,0011	
Камерные топки: паровые и водогрейные котлы бытовые теплогенераторы	Мазут	0,0100	0,32
	Газ природный, попутный и коксовый	-	0,25
	Газ природный	-	0,08
	Легкое жидкое (печное топливо)	0,0100	0,16

5.2.2. Выбросы твердых частиц с дымовыми газами от паровых котлов паропроизводительностью от 30 т/ч и водогрейных котлов мощностью от 35 МВт (30 Гкал/ч)

Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива) $M_{тв}$, поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов (г/с) вычисляют по одной из двух формул:

$$M_{тв} = B \cdot \frac{A'}{100 - \Gamma_{ун}} a_{ун} (1 - \eta_3)$$

или

$$M_{тв} = 0,01B \left(a_{ун} A' + q_4 \frac{Q_i^r}{32,68} \right) (1 - \eta_3),$$

где B – расход натурального топлива, г/с; A' – зольность топлива на рабочую массу, %; $a_{ун}$ – доля золы, уносимой газами из котла (доля золы топлива в уносе); η_3 – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях; $\Gamma_{ун}$ – содержание горючих в уносе, %; q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %; Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; 32,68 – теплота сгорания углерода, МДж/кг.

Количество летучей золы M_3 , г/с, входящее в суммарное количество твердых частиц, уносимых в атмосферу, вычисляют по формуле

$$M_3 = 0,01Ba_{\text{ун}}A'(1 - \eta_3).$$

Количество твердых частиц M_k , г/с, образующихся в топке в результате механического недожога топлива и выбрасываемых в атмосферу в виде коксовых остатков при сжигании твердого топлива, определяют по формуле

$$M_k = M_{\text{тв}} - M_3.$$

5.3. Определение выбросов оксидов серы с дымовыми газами для котлов любого типа и мощности

Суммарное количество оксидов серы M_{SO_2} , выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, г/с, вычисляют по формуле

$$M_{SO_2} = 0,02BS^m \left(1 - \eta'_{SO_2}\right) \left(1 - \eta''_{SO_2}\right) \left(1 - \eta^c_{SO_2} \frac{n_c}{n_k}\right),$$

где B – расход натурального топлива за рассматриваемый период, г/с; S^m – содержание серы в топливе на рабочую массу, %; η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле; η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц; $\eta^c_{SO_2}$ – доля оксидов серы, улавливаемых в сероулавливающей установке; n_c , n_k – длительность работы сероулавливающей установки и котла соответственно, ч/год.

Ориентировочные значения η'_{SO_2} при факельном сжигании различных видов топлива составляют:

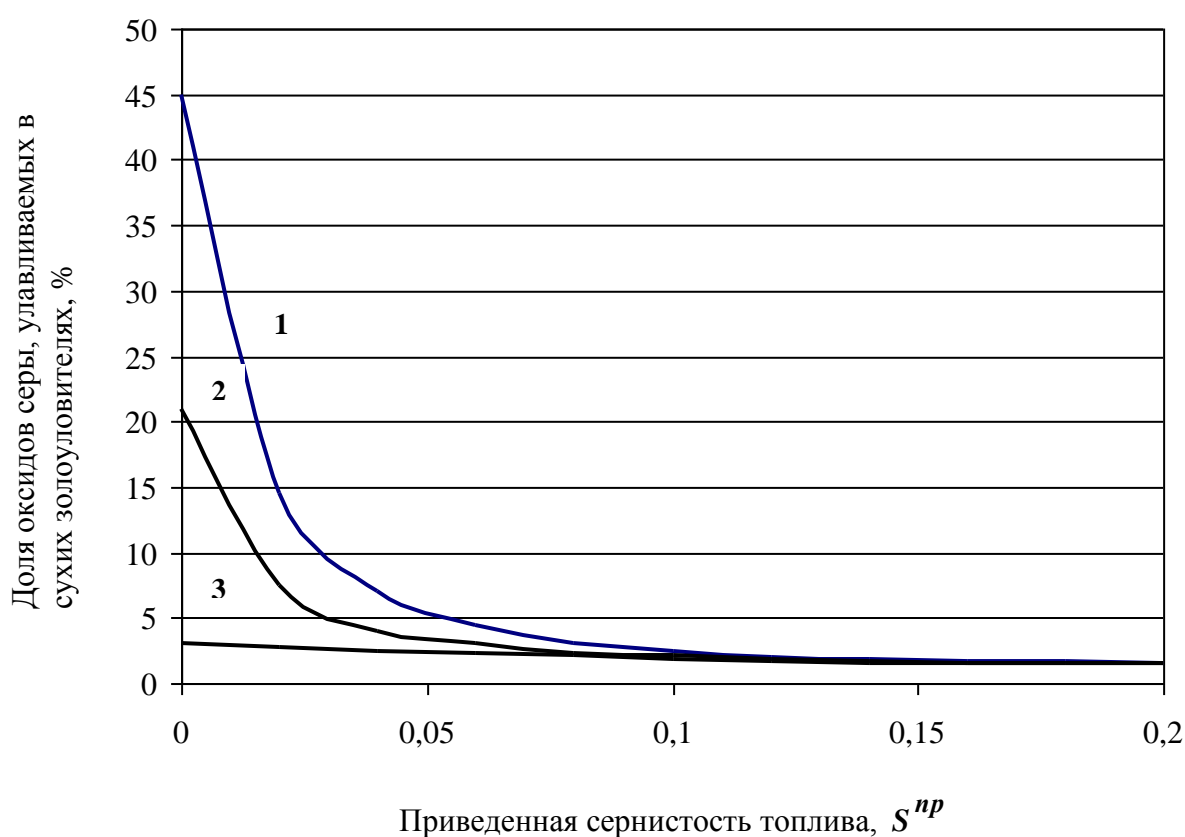
Топливо	η'_{SO_2}
торф.....	0,15
сланцы эстонские и ленинградские.....	0,8
сланцы других месторождений.....	0,5
экибастузский уголь.	0,02
березовские угли Канско-Ачинского бассейна	
для топок с твердым шлакоудалением	0,5
для топок с жидким шлакоудалением	0,2
другие угли Канско-Ачинского бассейна	
для топок с твердым шлакоудалением.....	0,2
для топок с жидким шлакоудалением.....	0,05
угли других месторождений.....	0,1
мазут.....	0,02
газ.....	0

Доля оксидов серы η''_{SO_2} , улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофильтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях МС и МВ эта доля зависит от общей щелочности орошающей воды и от приведенной сернистости топлива S^{np} .

$$S^{np} = \frac{S^m}{Q_i^m} \cdot 1000$$

где Q_i^m - теплота сгорания топлива, МДж/кг (МДж/нм³).

При принятых на тепловых электростанциях удельных расходах воды на орошение золоуловителей 0,1-0,15 дм³/нм³ η''_{SO_2} определяется по рис. 5.1.



1, 2, 3 – щелочность орошающей воды соответственно 10, 5, 3 мг-экв/дм³

Рис. 5.1 – Степень улавливания оксидов серы в мокрых золоуловителях в зависимости от приведенной сернистости топлива и щелочности орошающей воды

При совместном сжигании топлива различных видов выбросы оксидов серы рассчитываются отдельно для топлива каждого вида и результаты суммируются.

5.4. Расчет выбросов оксидов азота

Сжигание топлива на тепловых электростанциях и в котельных приводит к выбросу в атмосферу продуктов сгорания органического топлива, содержащих токсичные оксиды азота NO_x (главным образом монооксид азота NO и в меньшей степени – диоксид NO_2).

Количество образующихся оксидов азота зависит от характеристики топлива и от конструктивного исполнения топочной камеры, поэтому на стадии проектирования котлов необходимо провести расчет ожидаемых выбросов оксида азота и предусмотреть меры по снижению их до величин, максимально приближающихся к нормативам удельных выбросов NO_x в атмосферу (приложение А).

В топках при горении топлива образуется 95–99% монооксида азота NO и 1 – 5% более токсичного диоксида азота NO_2 . В атмосфере происходит неконтролируемое превращение NO в NO_2 , в связи, с чем расчет ведется условно на NO_2 . Для расчета доли диоксида азота в суммарном содержании NO_x в атмосферном воздухе при расчете загазованности и нормировании выбросов ТЭС условно применяется коэффициент 0,8.

Источниками оксидов азота являются молекулярный азот воздуха, используемого в качестве окислителя при горении, и азотосодержащие компоненты топлива. В связи с этим принято делить оксиды азота на воздушные и топливные. Воздушные, в свою очередь, можно разделить на термические, образующиеся при высоких температурах за счет окисления молекулярного азота атомарным кислородом (механизм Зельдовича) и так называемые “быстрые” оксиды азота, образующиеся в зоне сравнительно низких температур в результате реакции углеродных радикалов с молекулой азота и последующего взаимодействия атомарного азота с гидроксидом OH .

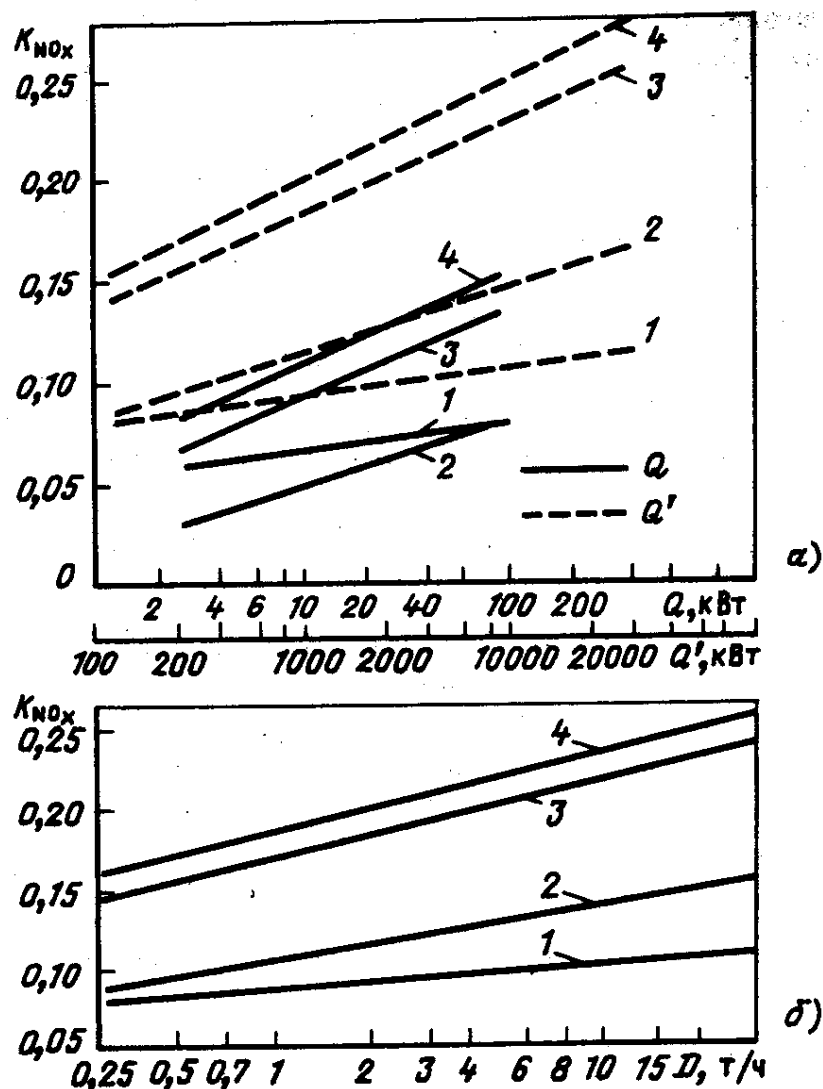
5.4.1. Выбросы оксидов азота котлами малой мощности (паровые котлы паропроизводительностью до 30 т/ч и водогрейные котлы мощностью до 30 Гкал/ч)

Расчет расхода выбросов оксидов азота (т/г, г/с) в пересчете на диоксид (NO_2) осуществляется по формуле

$$P_{\text{NO}_2} = 0,001BQ_n^P K_{\text{NO}_2} (1 - \beta),$$

где B – расход натурального топлива за рассматриваемый период времени, т/год; тыс. м³/год; г/с; л/с; Q_n^P – теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг, МДж/с³; K_{NO_2} – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на ГДж теплоты (кг/ГДж); β – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений.

Значение K_{NO_2} определяется по графикам (рис. 5.2) для различных видов топлива в зависимости от номинальной нагрузки котлов. При нагрузке котла, отличающейся от номинальной, K_{NO_2} следует умножить на $(Q_{\phi}/Q_H)^{0,25}$ или на $(D_{\phi}/D_H)^{0,25}$, где D_H и D_{ϕ} – соответственно номинальная и фактическая паропроизводительность, т/ч; Q_H и Q_{ϕ} – соответственно номинальная и фактическая мощность, кВт.



1 – природный газ, мазут; 2 – антрацит; 3 – бурый уголь; 4 – каменный уголь

Рис. 5.2 – Зависимость K_{NO_2} от тепловой мощности (а) и паропроизводительности (б) котла:

Количество оксидов азота в выбросах может быть также определено путем умножения объема выбросов (m^3/c) на концентрацию в них оксидов азота, значение которой для котлов различных типов приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Концентрации токсичных веществ в продуктах сгорания отопительных котлов малой мощности (до 85 кВт)

Тип котла	Топливо	Режим горения	$C_{26}H_{18}$, мкг/100 м ³	NO_2 , мг/м ³	NO , мг/м ³	CO , %
КС-2	Каменный уголь	Начало выгорания	8,97	5	205	-
		Основной период горения	33,55	25	180	-
КЧМ-3 (7 секций)	Антрацит	Розжиг дров	111,2	6-8	110	-
		Догорание дров	346,1	30-40	70-80	-
		Начало погрузки угля	13,6	10	120	0,11
		Конец погрузки	53,6	20	110	0,28
		Основной период горения	17,2-13,4	30	100	0,08
КС-2	Дрова	Разгорание дров	97,4	8-10	90-110	-
		Догорание дров	214,6	25-45	60-80	-
КЧМ-3 (7 секций)	Природный газ	Горение при α :	8-2	2,5	140	0,008
		1,2	-	35	150	-
		1,4	-	50	150	-
		1,8	-	60	160	-
		2,2	-	80	180	0,065
		2,8	-	-	-	-
КС-3	ТПБ (легкое жидкое топливо)	1,25	60	25	250	0,075
		1,4	350	80	140	0,02

5.4.2. Выбросы оксидов азота от паровых котлов паропроизводительностью от 30 т/ч и водогрейных котлов мощностью от 35 МВт (30 Гкал/ч)

Для паровых котлов паропроизводительностью 30-75 т/ч и водогрейных котлов тепловой производительностью 35-58 МВт (30-50 Гкал/ч) используется следующий расчетный метод.

Суммарное количество оксидов азота NO_x , в пересчете на NO_2 в г/с, выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котла при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива, рассчитывается по соотношению

$$M_{NO_2} = B_p K_{NO_2} \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \beta_1 (1 - \varepsilon_1 r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 \left(1 - \eta_{NO_2} \frac{n_0}{n_k}\right) k_n,$$

где B – расход условного топлива в т усл. топл./ч при определении максимальных выбросов и в т.усл.топл. при определении валовых выбросов; K_{NO_2} – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота,

определяется по п. 2.1.1.1, кг/т усл. топл.; q_4 – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %; β_1 – коэффициент, учитывающий влияние на выход оксидов азота качества сжигаемого топлива; β_2 – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок и равный: для вихревых горелок $\beta_2 = 1,0$, для прямоточных горелок $\beta_2 = 0,85$; β_3 – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления и равный: при твердом шлакоудалении $\beta_3 = 1,0$, при жидком шлакоудалении $\beta_3 = 1,6$; ε_1 – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов на выход оксидов азота в зависимости от условий подачи их в топку; ε_2 – коэффициент, характеризующий уменьшение выбросов оксидов азота при подаче части воздуха, помимо основных горелок; определяется по рис. 5.3; r – степень рециркуляции дымовых газов, %; η_{NO_2} – доля оксидов азота, улавливаемых в азотоочистной установке; n_0 , n_k – длительность работы азотоочистной установки и котла, ч/год; k_n – коэффициент пересчета; при расчете валовых выбросов в граммах в секунду $k_n = 0,278$; при расчете выбросов в тоннах $k_n = 10^{-3}$.

Коэффициент K_{NO_2} вычисляется по эмпирическим формулам:

– для паровых котлов паропроизводительностью от 30 до 75 т/ч

$$K_{NO_2} = 7,5 \frac{D_\phi}{50 + D_n},$$

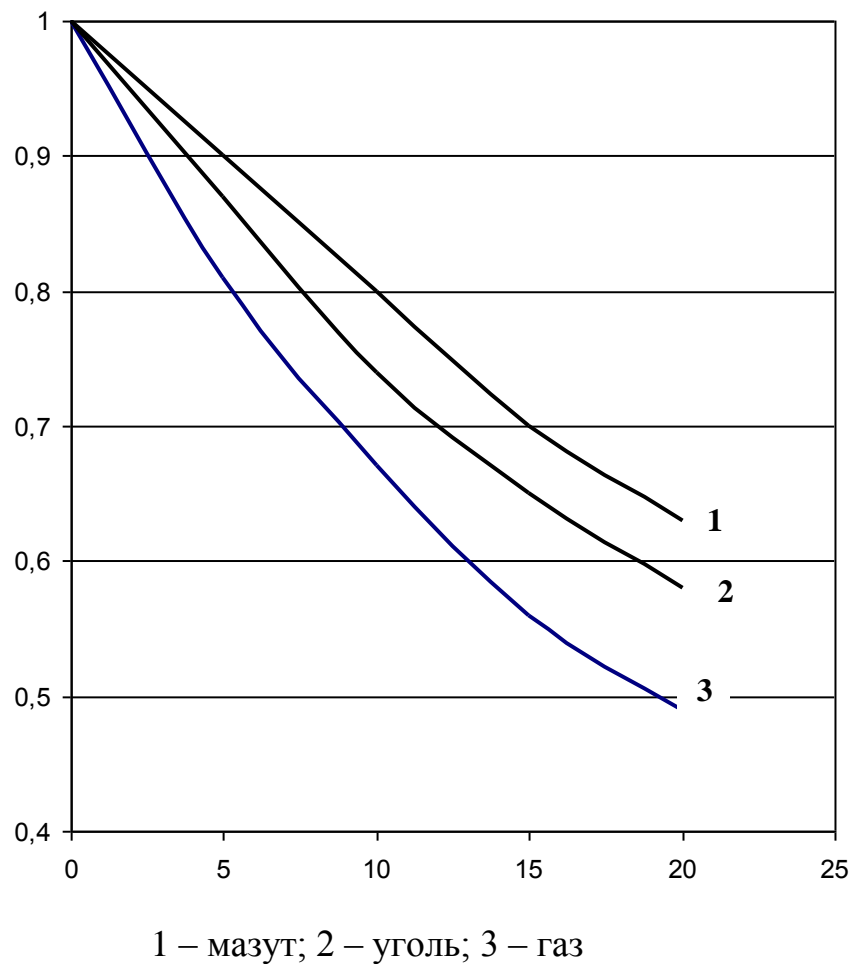
где D_n и D_ϕ – номинальная и фактическая паропроизводительность котла соответственно, т/ч;

– для водогрейных котлов производительностью от 125–210 Гдж/ч (30 - 50 Гкал/ч)

$$K_{NO_2} = 2,5 \frac{Q_\phi}{84 + Q_n},$$

где Q_n и Q_ϕ – номинальная и фактическая тепловая производительность котла соответственно, ГДж/ч;

Примечание. В случае сжигания твердого топлива в формулы (5.1)–(5.2) вместо D_ϕ и Q_ϕ подставляются D_n и Q_n .



1 – мазут; 2 – уголь; 3 – газ

Рис. 5.3. Значение коэффициента ϵ_2 от доли воздуха, подаваемого помимо основных горелок

Значения β_1 при сжигании твердого топлива вычисляются по формулам

$$\text{при } \alpha_m \leq 1,25 \quad \beta_1 = 0,178 + 0,47N^m,$$

$$\text{при } \alpha_m > 1,25 \quad \beta_1 = (0,178 + 0,47N^m)\alpha_m / 1,25,$$

где N^m - содержание азота в топливе, % на горючую массу.

При сжигании жидкого и газообразного топлива значения коэффициента β_1 принимаются по табл. 5.4.

Таблица 5.4

Значения коэффициента β_1 при различных коэффициентах избытка воздуха в топочной камере

Коэффициент избытка воздуха в топочной камере α_m	β_1
>1,05	1,0
1,05-1,03	0,9
<1,03	0,75

При одновременном сжигании двух видов топлива и расходе одного из них более 90% значение коэффициента β_1 следует принимать по основному виду топлива. В остальных случаях коэффициент β_1 определяют как средневзвешенное значение по топливу. Для двух видов топлива

$$\beta_1 = \frac{\beta_1' B' + \beta_1'' B''}{B' + B''},$$

где β_1' , β_1'' и B' , B'' - соответственно коэффициенты и расходы топлива каждого вида на котел.

Значения коэффициента ε_1 при номинальной нагрузке и степени рециркуляции дымовых газов r менее 20% принимают равными:

при сжигании газа и мазута и вводе газов рециркуляции в подтопки (при расположении горелок на вертикальных экранах).....	0,0025;
через шлицы под горелками.....	0,015;
по наружному каналу горелок.....	0,025;
в воздушное дутье и рассечку двух воздушных потоков ..	0,035;
при высокотемпературном сжигании ¹ твердого топлива и вводе газов рециркуляции	
в первичную аэросмесь.....	0,010,
во вторичный воздух.....	0,005;
при низкотемпературном сжигании ² твердого топлива $\varepsilon_1 = 0$.	

При нагрузке меньше номинальной коэффициент ε_1 умножают на коэффициент f , определяемый по соотношению

$$f = 0,6 \frac{D_\phi}{D_n} + 0,4. \quad (5.3)$$

Формула (5.3) справедлива при выполнении условия $0,5 \leq D_\phi / D_n \leq 1$.

5.5. Расчет выбросов оксида углерода

¹ Под высокотемпературным сжиганием понимают сжигание всех углей в топках с жидким шлакоудалением, а также с низшей, теплотой сгорания, равной или более 23,05 МДж/кг, в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела, равной или более 1500 °С.

² Под низкотемпературным сжиганием понимают сжигание твердого топлива с низшей теплотой сгорания менее 23,05 МДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела менее 1500 °С.

Расчет расхода выбросов оксида углерода (г/с) выполняется по формуле

$$P_{CO} = 0,001C_{CO}B\left(1 - \frac{q_4}{100}\right),$$

где B – расход топлива, т/год; тыс. м³/год; г/с; л/с; C_{CO} – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т, рассчитывается по формуле

$$C_{CO} = q_3 R Q_n^P,$$

Здесь q_3 – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %; R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода. Для твердого топлива $R=1$, для газа $R=0,5$, для мазута $R=0,65$; Q_n^P – низшая теплота сгорания натурального топлива, МДж/м³; q_4 – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Значения q_3 и q_4 принимаются по табл. 5.5

Таблица 5.5

Характеристика процессов горения в топках котлов малой мощности

Тип топки котла	Топливо	α	q_3	q_4
С цепной решеткой	Донецкий антрацит	1,5–1,6	0,5	13,5/10
Шахтно-цепная	Торф кусковой	1,3	1	2
С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода	Угли типа донецких Бурые угли	1,3–1,4	0,5–1	6/3,5
		1,3–1,4	0,5–1	5,5/4
С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Каменные угли Бурые угли	1,3–1,4	0,5–1	5,5/3
		1,3–1,4	0,5–1	6,5/4,5
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Донецкий антрацит	1,6–1,7	0,5–1	13,5/10
	Бурые угли типа подмосковных	1,4–1,5	0,5–1	9/7,5
	Бурые угли типа бородинских	1,4–1,5	0,5–1	6/3
	Угли типа кузнецких	1,4–1,5	0,5–1	5,5/3
Шахтная с наклонной решеткой	Дрова, дробленые отходы, опилки, торф кусковой	1,4	2	2
Скоростного горения	Дрова, щепы, опилки	1,3	1	4/2

Продолжение таблицы 5.5

Тип топки котла	Топливо	α	q_3	q_4
Слоевая котла паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	1,4	3	3
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Каменные угли	1,2	0,5	5/3
	Бурые угли	1,2	0,5	3/1,5
	Фрезерный торф	1,2	0,5	3/1,5
	Мазут	1,1	0,5	0,5
	Газ (природный, попутный)	1,1	0,5	0,5
	Доменный газ	1,1	1,5	0,5

Примечание. Для α меньшие значения – для парогенераторов производительностью более 10 т/ч; для q_4 в числителе – при отсутствии средств уменьшения уноса, в знаменателе – при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25–35 т/ч.

6. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ И ИХ РАССЕИВАНИЯ

6.1. Расчет рассеивания выбросов из трубы

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m для выброса нагретой газовойдушной смеси из одиночного (точечного) источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m от источника определяется по формуле

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{(V_1 \cdot \Delta T)}} , \quad (6.1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, $\text{с}^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot (\text{°C})^{1/3} / \text{г}$;

M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу из источника выбросов, г/с; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном в воздухе; m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовойдушной смеси из устья источника выброса; H – высота источника выброса над уровнем земли, м; ΔT – разность температур выбрасываемой газовойдушной смеси T_2 и температурой окружающего атмосферного

воздуха T_g ; V_1 – объем газовой смеси, м³/с, определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0, \quad (6.2)$$

где D – диаметр источника выброса, м; ω_0 – средняя скорость газовой смеси на выходе из устья источника выброса, м/с.

Коэффициент A принимается для неблагоприятных метеорологических условий, при которых концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе от источника выбросов достигают максимального значения. Для зоны Сибири значение коэффициента $A = 200$.

Величины M и V_1 определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами.

Величины безразмерного коэффициента F принимаются:

– для газообразных вредных веществ (сернистого газа, сероуглерода и т.п.) и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) $F = 1$;

– для пыли и золы (кроме указанных в предыдущем пункте):

- если коэффициент очистки газовых выбросов равен не менее 90 %, $F = 2$;
- если коэффициент очистки газовых выбросов равен от 75 до 90 %, $F = 2,5$;
- если коэффициент очистки газовых выбросов менее 75 %, $F = 3,0$.

Вне зависимости от эффективности пылеулавливания значение коэффициента F принимается равным 3, также при расчетах рассеивания пыли в атмосфере для производств, в которых выбросы пыли сопровождаются выделениями водяного пара в количестве, достаточном для того, чтобы в течение года наблюдалась его интенсивная конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц (например глиноземное производство).

Безразмерный коэффициент m в уравнении (6.1) определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} \quad (6.3)$$

в зависимости от величины параметра f , вычисляемого по уравнению:

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}. \quad (6.4)$$

Безразмерный коэффициент n в уравнении (6.1) определяется по

формулам (6.5)-(6.7) в зависимости от параметра ν_m , вычисляемого по формуле (6.8)

$$\text{при } \nu_m \leq 0,3 \quad n = 3; \quad (6.5)$$

$$\text{при } 0,3 < \nu_m \leq 2 \quad n = 3 - \sqrt{(\nu_m - 0,3)(4,36 - \nu_m)}; \quad (6.6)$$

$$\text{при } \nu_m > 2 \quad n = 1; \quad (6.7)$$

$$\text{где} \quad \nu_m = 0,65 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}. \quad (6.8)$$

Максимальная приземная концентрация вредных веществ C_m при неблагоприятных метеорологических условиях достигается на оси факела выброса (по направлению среднего ветра за рассматриваемый период) на расстоянии x_m от источника выброса.

Величина x_m определяется по формуле

$$x_m = d \cdot H. \quad (6.9)$$

Коэффициент d в уравнении (6.9) определяется в зависимости от значения коэффициента ν_m :

$$\text{при } \nu_m \leq 2 \quad d = 4,95 \cdot \nu_m (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}); \quad (6.10)$$

$$\text{при } \nu_m > 2 \quad d = 7 \sqrt{\nu_m} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}). \quad (6.11)$$

Величины приземных концентраций вредных веществ C в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях от источника выброса определяются по формуле

$$C = S_1 \cdot C_m. \quad (6.12)$$

Безразмерный коэффициент S_1 определяется в зависимости от отношения x/x_m по формулам

$$\text{при } \frac{x}{x_m} \leq 1 \quad S_1 = 3 \left(\frac{x}{x_m} \right)^4 - 8 \left(\frac{x}{x_m} \right)^3 + 6 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2; \quad (6.13)$$

$$\text{при } 1 < \frac{x}{x_m} \leq 8 \quad S_1 = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2 + 1}. \quad (6.14)$$

При $x/x_m > 8$ и $F = 1$ величина S_1 определяется по формуле

$$S_1 = \frac{\frac{x}{x_m}}{3,58 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2 - 35,2 \left(\frac{x}{x_m} \right) + 120}, \quad (6.15)$$

при $x/x_m > 8$ и $F = 2; 2,5$ или 3 величина S_1 определяется по формуле

$$S_1 = \frac{1}{0,1 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2 + 2,47 \left(\frac{x}{x_m} \right) - 17,8}. \quad (6.16)$$

В общем случае для любого проектируемого или действующего объекта при отсутствии суммации должно соблюдаться условие

$$C_m + C_\phi \leq ПДК,$$

где C_ϕ – фоновая концентрация вредной примеси в атмосфере, мг/м^3 ; $ПДК$ – предельно-допустимая концентрация вредной примеси в атмосферном воздухе, мг/м^3 .

В таблице 6.1 приведены значения ПДК типичных для тепловых электростанций вредных веществ. В таблице максимально-разовая концентрация относится к случая отбора проб воздуха в течение 20 мин, а среднесуточная – в течение суток.

Таблица 6.1

Значение предельно допустимых концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест

Загрязняющее вещество	Предельно допустимые концентрации, мг/м^3	
	Максимально-разовая	Среднесуточная
Пыль нетоксичная	0,5	0,15
Сернистый ангидрид	0,5	0,05
Углерода окись	3,0	1,00
Азота двуокись	0,085	0,085
Сажа (копоть)	0,15	0,05
Сероводород	0,008	0,008
Бенз(а)пирен	—	0,1 мкг/100 м^3

Для ТЭЦ и котельных расчеты ведутся по каждому вредному веществу в отдельности. Кроме того, необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\frac{C_{m(SO_2)}}{ПДК_{SO_2}} + \frac{C_{m(NO_2)}}{ПДК_{NO_2}} + \left(\frac{C_{\phi(SO_2)}}{ПДК_{SO_2}} + \frac{C_{\phi(NO_2)}}{ПДК_{NO_2}} \right) \leq 1.$$

6.2. Определение предельно-допустимого выброса.

Предельно допустимый выброс вредного вещества (окислов азота, окислов серы пыли) в атмосферу ПДВ, г/с из дымовой трубы, при котором обеспечивается не превышающая ПДК концентрация его в приземном слое воздуха, определяется по формуле

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi}) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n}.$$

6.3. Определение минимальной высоты дымовой трубы

Основываясь на данной методике расчета рассеивания вредных примесей, определяют высоту дымовой трубы. Так как расчет ведется при неблагоприятных метеоусловиях, выбранная высота дымовой трубы позволит осуществлять эксплуатацию ТЭС или котельной в условиях, при которых большую часть времени в году концентрации вредных примесей на уровне дыхания людей будут ниже предельно допустимых норм.

Необходимо подчеркнуть, что высота дымовой трубы ТЭС должна увеличиваться по сравнению с действующей или проектной только после того, как использованы все возможности, связанные с уменьшением количества выбросов вредных веществ, образующихся при работе ТЭС или котельной, в атмосферу.

Высота дымовой трубы H , при которой обеспечивается не превышающее ПДК значение максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m , учетом существующей (фоновой) загазованности атмосферы по формуле

$$H = \sqrt{\frac{AFmn \left(M_{SO_2} + \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NO_2}} M_{NO_2} \right)}{ПДК_{SO_2} - C_{\phi(SO_2)} - \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NO_2}} C_{\phi(NO_2)}}} \sqrt[3]{\frac{z}{V_1 \Delta T}},$$

где z – число дымовых труб одинаковой высоты, установленных на предприятии теплоэнергетики (ТЭС, котельной).

Литература

1. Еремкин, А. И. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: учеб. пособие для вузов / А. И. Еремкин, И. М.Квашнин,

Ю. И. Юнекеров– М.: АСВ, 2000. – 176 с.

2. Носков, А. С. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики: Аналит. обзор / А. С. Носков, З. П. Пай. – Новосибирск, 1996. – 156 с.

3. Чуянов, Г. Г. Обезвреживание, пылеудаление и охрана окружающей среды: Учеб. для студентов вузов. – М.: Недра, 1987. – 260 с.

4. Бретшнайдер, Б. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: Технология и контроль / Б. Бретшнайдер, И. Курфост. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.

5. Тищенко, Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и его распределение в воздухе. – М.: Химия, 1991. – 368 с.

6. Алиев, Гасан Мамед Али-оглы. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник. – М.: Metallurgia, 1968. – 544 с.

7. Белевицкий, А. М. Проектирование газоочистных сооружений. – Л.: Химия. Ленинград. отд-ние, 1990. – 287 с.

8. Смола, В. И. Защита атмосферы от двуокиси серы / В. И. Смола, Н. В. Кельцев. – Metallurgia, 1976. – 256 с.

9. Лотош, В. Е. Переработка отходов природопользования / Урал. гос. ун-т путей сообщения. – Екатеринбург, 2002. – 463 с.

10. Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды: учеб. пособие для вузов / А. И. Родионов, Б. Н. Клушин, С. Н. Торочешников. – М.: Химия, 1989. – 512 с.

11. Очистка сточных вод (примеры расчетов): учеб. пособие для вузов / М. П. Лапицкая, Л. И. Зуева [и др.]. – Минск: Вышэйш. шк., 1983. – 255 с.

12. Очистка производственных сточных вод: учеб. пособие для вузов / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, Ю. В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1985. – 336 с.

13. Коротин, А. Н. Охрана окружающей среды в промышленной теплоэнергетике: учеб. пособие / А. Н. Коротин, В. Ф. Никишов, И. О. Горинов. – Иваново, 1985. – 80 с.

14. Энергетика и охрана окружающей среды / В. И. Бабий, А. Ф. Белоконова, Р. А. Белый [и др.]. – М.: Энергия, 1979. – 351 с.

15. Сигал, И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1977. – 294 с.

16. Энергетическое топливо СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 356 с.

Составители:
Геннадий Викторович Ушаков
Андрей Геннадьевич Ушаков

РАСЧЕТ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ
В АТМОСФЕРУ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ СООТВЕТСТВИЯ
САНИТАРНЫМ НОРМАМ.
РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ

Методические указания к выполнению курсовой работе по дисциплине
«Экологические методы и системы очистки на предприятиях
теплоэнергетики»
для студентов специальности 140104 – «Промышленная теплоэнергетика»

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать . . . 2014. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,9.
Тираж 50 экз. Заказ
ГУ КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Типография ГУ КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А.