

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Факультет инженерно-экологических систем и сооружений

Кафедра теплогазоснабжения

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И РАЗРАБОТКА НОРМАТИВОВ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ

Методические указания к курсовой работе, расчетно-графической работе и практическим занятиям для студентов, обучающихся по направлениям 270800.62 Строительство (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»), 140100.62 Теплоэнергетика и теплотехника (профиль «Промышленная теплоэнергетика»), 270800.68 Строительство (программа «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий»), 140100.68 Теплоэнергетика и теплотехника (программа «Тепломассообменные процессы и установки»)

Нижегород
2012

УДК 62-784.2:699.871

Лебедева Е.А., Гордеев А.В., Лощилова Е.В. Экологическая оценка котельной установки и разработка нормативов предельно допустимых выбросов [текст]: методические указания / Е. А. Лебедева, А.В. Гордеев, Е.В. Лощилова; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2012. – 59.; ил.

Методические указания к курсовой работе, расчетно-графической работе и практическим занятиям для студентов, обучающихся по направлениям 270800.62 Строительство (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»), 140100.62 Теплоэнергетика и теплотехника (профиль «Промышленная теплоэнергетика»), 270800.68 Строительство (программа «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий»), 140100.68 Теплоэнергетика и теплотехника (программа «Тепломассообменные процессы и установки»)

В методической разработке приведены указания по расчету количества выбросов котельной установки; массы загрязняющих веществ, удаляемых дымовой трубой; распределения загрязняющих в атмосфере и определению нормативов предельно допустимых выбросов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Анализ исходных данных для проектирования.....	6
1.1. Характеристика местности.....	6
1.2. Характеристика источника загрязнения.....	7
2. Определение объема удаляемых в атмосферу продуктов сгорания...10	
3. Расчет массы загрязняющих веществ в выбросах котельной.....13	
3.1. Расчет массы оксида углерода.....	13
3.2. Расчет массы оксидов азота.....	14
3.3. Расчет массы оксидов серы.....	18
3.4. Расчет массы твердых частиц.....	19
3.5. Расчет массы бенз(а)пирена.....	21
4. Расчет рассеивания токсичных веществ в атмосфере.....26	
4.1. Определение максимальных значений приземных концентраций токсичных веществ.....	26
4.2. Определение опасной скорости ветра.....	28
4.3. Определение расстояния от источника до координаты максимума концентраций.....	29
4.4. Расчет распределения концентрации токсичных веществ.....	30
4.5. Построение зоны влияния источника.....	37
5. Обоснование размеров санитарно-защитной зоны для предприятия и экозащитной зоны для источника (источников) загрязнения.....	38
6. Расчет предельно допустимых выбросов.....	41
7. Выбор природоохранных мероприятий.....	43
8. Расчёт платы за негативное воздействие котельной на атмосферный воздух.....	46
9. Графическое оформление работы.....	49
Библиографический список.....	52
Приложения.....	55

ВВЕДЕНИЕ

Уровень загрязнения атмосферного воздуха в промышленно развитых городах России превышает предельно допустимые концентрации. Основным источником загрязнения являются топливоиспользующие установки, в том числе отопительные и производственные котельные.

Котельные установки выбрасывают в атмосферу продукты сгорания, содержащие множество вредных примесей, а именно: полициклические ароматические углеводороды, в том числе бенз(а)пирен $C_{20}H_{12}$ (1-й класс опасности); оксиды азота NO_x (3-й класс опасности); диоксид серы SO_2 (3-й класс опасности); оксид углерода CO (4-й класс опасности), а также взвешенные вещества (зола, сажа и коксовые остатки), токсичность которых зависит от содержащихся в них примесей.

В соответствии с «Экологической доктриной Российской Федерации», законами «Об охране окружающей среды» и «Об охране атмосферного воздуха» для всех технологических установок, выбрасывающих вредные вещества, должны быть предусмотрены природоохранные мероприятия, сокращающие или устраняющие вредное воздействие на атмосферный воздух. В процессе экологической оценки котельной установки выполняются расчеты: количества выбросов котельной установки; массы загрязняющих веществ, удаляемых дымовой трубой; распределения загрязняющих в атмосфере, также разрабатываются нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ).

Расчеты должны производиться в соответствии с нормативными документами [2–9] и др. При значительном количестве источников выбросов рекомендуется использовать унифицированные программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА). Объем расчетно-пояснительной записки составляет не менее 30 – 40 стр. формата А4. Графическая часть курсовой работы состоит из 1 – 1,5 листов формата А1.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И АББРЕВИАТУР

ЗВ	– загрязняющее (вредное) вещество
ПДВ	– предельно допустимый выброс
ВСВ	– временно согласованный выброс
ТНВ	– технический норматив выброса
СЗЗ	– санитарно-защитная зона
ЭЗЗ	– экозащитная зона
ПДК _{м.р.}	– максимальная разовая предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных мест
ПДК _{с.с.}	– среднесуточная предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных мест
ПДК _{р.з.}	– предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в рабочей зоне
ОБУВ	– ориентировочный безопасный уровень воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест
НМУ	– неблагоприятные метеорологические условия
БП	– бенз(а)пирен C ₂₀ H ₁₂
NO _x	– группа оксидов азота, образующихся при сжигании органического топлива: N ₂ O (I)– гемииоксид азота, NO (II) – оксид азота, NO ₂ (IV) – диоксид азота
SO _x	– группа оксидов серы, образующихся при сжигании органического топлива: SO ₂ – сернистый ангидрид, SO ₃ – серный ангидрид
CO	– оксид углерода
ТВЧ	– твердые частицы, содержащиеся в выбросах котельной
З (МЗ)	– зола твердого топлива (мазутная зола)
К	– частицы несгоревшего твердого топлива (кокса)
С	– сажа
ppm	– (part per million) промилль (миллионная часть)*

* 1 ppm = 0,0001% по объему; 1 % = 10⁻⁴ ppm

1. АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Воздействие источника на загрязнение атмосферного воздуха определяется: характеристикой местности, в которой размещен источник, и характеристикой источника, загрязняющего атмосферу.

1.1. Характеристика местности

Характеристика местности включает:

- расчетные температуры атмосферного воздуха по месяцам года, в том числе зимний период (январь), летний период (июль);
- продолжительность ветров по румбам и скорости ветров по румбам;
- фоновые концентрации токсичных веществ в атмосферном воздухе (в месте размещения источника загрязнения);
- данные о широте и рельефе местности.

Расчетные температуры наружного воздуха, продолжительность отопительного периода принимаются по [1], дополнениям и приложениям данного нормативного документа. Продолжительность и скорости ветров по румбам при отсутствии данных по регионам в учебном проектировании разрешается принимать по СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика.

Широта местности определяется по географическому атласу (кроме областей, перечисленных в [5, раздел 2]) и используется для определения коэффициента A , зависящего от условий рассеивания примесей в атмосферном воздухе.

Рельеф местности определяется по съемке территории в районе размещения источника загрязнения.

Фоновая концентрация принимается по данным наблюдений, проводимых территориальными Управлениями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета (при учебном проектировании – на основании задания).

1.2. Характеристика источника загрязнения

Если источником загрязнения является котельная установка (далее котельная), то в характеристике следует указать:

- назначение котельной (производственная, отопительная, отопительно-производственная);
- тип котельной (паровая, водогрейная, комбинированная);
- установленную паропроизводительность, т/ч (теплопроизводительность, ГДж/ч) или тепловую мощность, МВт (Гкал/ч);
- число котлов (N_1, N_2), работающих в разные периоды года (летний, зимний для паровой котельной, зимний и переходный – для водогрейной);
- высота дымовой трубы H (м) и диаметр устья трубы D (м);
- вид основного топлива и (при необходимости) резервного;
- максимальный расход топлива (основного и резервного) на котельную.

Расход топлива (основного и резервного) на котельную рассчитывается для различных временных промежутков: расход секундный, часовой, годовой (см. табл. 1.1).

При известных марке и рабочих параметрах котла максимальный расход топлива подсчитывается, $\text{м}^3/\text{с}$, $\text{кг}/\text{с}$:

$$B_k^c = \frac{Q_k}{Q_i^r \cdot \eta_k^{\text{бр}}}, \quad (1.1)$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, $\text{кДж}/\text{кг}$, $\text{кДж}/\text{м}^3$ (см. характеристику топлива); $\eta_k^{\text{бр}}$ – коэффициент полезного действия котлоагрегата брутто (принимается по технической характеристике котла); Q_k – теплопроизводительность котельного агрегата, кВт ($\text{кДж}/\text{с}$). Для водогрейного котла принимается по характеристике котла [15], для парового – рассчитывается по формуле:

$$Q_k = D \cdot (h'' - h_{\text{нс}}) + D_{\text{пр}} \cdot (h' - h_{\text{нс}}), \quad (1.2)$$

где D – паропроизводительность, $\text{кг}/\text{с}$; $D_{\text{пр}}$ – расход продувочной воды, $\text{кг}/\text{с}$; h'' , h' – энтальпии насыщенного пара и котловой воды, $\text{кДж}/\text{кг}$. h'' , h' принимаются из [15, табл. 3.1, С. 47] по абсолютному давлению в барабане котла; При наличии пароперегревателя в формуле (1.2) h'' заменяется на энтальпию перегретого пара $h_{\text{пп}}$, принимаемой по абсолютному давлению в барабане котла и температуре перегретого пара [15, табл. 3.2, С.

49]; $h_{\text{пв}}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг. Энтальпия питательной воды вычисляется по формуле:

$$h_{\text{пв}} = c_{\text{в}} \cdot t_{\text{пв}}, \quad (1.3)$$

где $c_{\text{в}} = 4,19$ кДж/(кг·°С) – удельная теплоемкость воды; $t_{\text{пв}}$ – температура питательной воды, °С (принять 70–90°С).

Максимальный секундный расход топлива на котельную установку:

– в зимний период, м³/с, кг/с

$$B_{\text{ку}}^{\text{с}} = B_{\text{к}}^{\text{с}} \cdot N_1, \quad (1.4)$$

– в летний (переходный) период, м³/с, кг/с

$$B_{\text{ку}}^{\text{с}} = B_{\text{к}}^{\text{с}} \cdot N_2, \quad (1.5)$$

где N_1 и N_2 – число работающих котлов в зимний и летний период соответственно.

Далее определяется *расчетный расход топлива на котельную*, кг/с, по формуле:

$$B_{\text{р(ку)}}^{\text{с}} = B_{\text{ку}}^{\text{с}} (1 - q_4/100), \quad (1.6)$$

где q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания, %. При отсутствии эксплуатационных данных можно принять по прил. А.

Для расчета массы выбросов загрязняющих веществ по нормативной методике [2] необходимо заполнить таблицу 1.1.

Годовой расход подсчитывается по формуле, т/год (тыс.м³/год):

$$B_{\text{ку}}^{\text{год}} = B_{\text{ку}}^{\text{ч}} \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (1.7)$$

где n – число часов использования установленной мощности котельной, ч/год. Если фактическое значение n неизвестно, то можно принять:

– для паровой котельной: $n = 5500$ ч/год;

– для водогрейной котельной: $n = n_1 \cdot 0,7$, ч/год,

где n_1 – число часов отопительного периода. Принимается по [1, табл. 1]; 0,7 – коэффициент одновременной работы котлов.

При наличии резервного топлива принять его использование в течении 1-3 месяцев в зависимости от климатических условий расположения источника загрязнения. При этом значение n окажется равным сумме часов работы котельной установки на основном и резервном видах топлива.

Таблица 1.1

Расход топлива на котельную установку

Периоды года	Расход топлива для расчетного периода			
<i>При сжигании мазута или твердого топлива:</i>				
Зимний	максимальный	$B_{ку}^c$, кг/с	$B_{ку}^c$, г/с	$B_{ку}^н$, т/ч
	расчетный	$B_{р(ку)}^c$, кг/с	$B_{р(ку)}^c$, г/с	$B_{р(ку)}^н$, т/ч
Летний (переходный)	максимальный	$B_{ку}^c$, кг/с	$B_{ку}^c$, г/с	$B_{ку}^н$, т/ч
	расчетный	$B_{р(ку)}^c$, кг/с	$B_{р(ку)}^c$, г/с	$B_{р(ку)}^н$, т/ч
Годовой	максимальный	$B_{ку}^{год}$, т/год		
	расчетный	$B_{р(ку)}^{год}$, т/год		
<i>При сжигании природного газа:</i>				
Зимний	максимальный	$B_{ку}^c = B_{р(ку)}^c$, м ³ /с	$B_{ку}^н = B_{р(ку)}^н$, тыс.м ³ /ч	
	расчетный			
Летний (переходный)	максимальный	$B_{ку}^c = B_{р(ку)}^c$, м ³ /с	$B_{ку}^н = B_{р(ку)}^н$, тыс.м ³ /ч	
	расчетный			
Годовой	максимальный	$B_{ку}^{год} = B_{р(ку)}^{год}$, тыс.м ³ /год		

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА УДАЛЯЕМЫХ В АТМОСФЕРУ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

Суммарное количество продуктов сгорания, выбрасываемых из дымовой трубы котельной, рассчитывается двумя способами.

I способ

Расчет выполняется по известному составу топлива (компонентному – для газового, элементному – для твердого и жидкого топлив).

Теоретический объем воздуха, необходимого для полного сгорания единицы топлива:

– при сжигании твердого и жидкого топлива, м³/кг:

$$V^0 = 0,0889 \cdot (C^r + 0,375 S_{\text{оп+к}}^r) + 0,265H^r - 0,0333O^r \quad (2.1)$$

– при сжигании газового топлива, м³/м³:

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_2 \right], \quad (2.1)$$

где m – число атомов углерода; n – число атомов водорода.

Теоретический объем азота в продуктах сгорания:

– при сжигании твердого и жидкого топлива, м³/кг:

$$V^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot \frac{N^r}{100}, \quad (2.2)$$

– при сжигании газового топлива, м³/м³:

$$V_{N_2}^0 = 0,79 \cdot V^0 + 0,01 \cdot N_2, \quad (2.3)$$

Объем трехатомных газов:

– при сжигании твердого и жидкого топлива, м³/кг:

$$V_{RO_2} = 1,866 \cdot \frac{(C^r + 0,375 S_{\text{оп+к}}^r)}{100}, \quad (2.4)$$

– при сжигании газового топлива, м³/м³:

$$V_{RO_2} = 0,01 (CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n), \quad (2.5)$$

При расчете следует учитывать, что диоксид углерода и сернистый газ принято объединять и называть “сухие трехатомные газы”, обозначая через RO_2 , т.е. $RO_2 = CO_2 + SO_2$.

Теоретический объем водяных паров:

– при сжигании твердого и жидкого топлива, м³/кг:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,111H^r + 0,0124W^r + 0,0161 \cdot V^0, \quad (2.6)$$

– при сжигании газового топлива, м³/м³:

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 0,01 \cdot \left(H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 \cdot d_{\text{г.тл}} \right) + 0,0161 \cdot V^0, \quad (2.7)$$

где $d_{\text{г.тл}}$ – влагосодержание газового топлива, отнесенное к 1 м³ сухого газа, г/м³. В учебном проектировании можно принять $d_{\text{г.тл}} = 5 \text{ г/м}^3$.

Действительный объем водяных паров, м³/кг (для твердого и жидкого топлива), м³/м³ (для газового топлива):

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}}^0 + 0,0161 \cdot (\alpha_{\text{yx}} - 1) \cdot V^0, \quad (2.8)$$

где α_{yx} – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах. Принимается согласно рекомендациям [17, п. 4-Б, С. 27].

Действительный суммарный объем продуктов сгорания м³/кг (для твердого и жидкого топлива), м³/м³ (для газового топлива):

$$V_{\text{г}} = V_{\text{N}_2}^0 + V_{\text{RO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + (\alpha_{\text{yx}} - 1) \cdot V^0, \quad (2.9)$$

Расход продуктов сгорания на выходе из дымовой трубы определяется для двух временных промежутков (зимнего и летнего/переходного) по формуле, м³/с:

$$V_{\text{yx}} = B_{\text{p(кy)}}^c \cdot V_{\text{г}} (\theta_{\text{yx}} + 273,15) / 273,15, \quad (2.10)$$

где $B_{\text{p(кy)}}^c$ – расчетный секундный расход топлива на котельную (см.табл.1.1), кг/с (м³/с) для рассматриваемого периода (зимнего, летнего/переходного); θ_{yx} – температура газов на выходе из дымовой трубы, °С. Принимается согласно рекомендациям [17, прил. II, п. 13.7, для угля и газа табл. II-6 С. 121, для мазута табл. II-4, С. 120] или не ниже значений, указанных в табл. 2.1. Для водогрейных котлов принимается согласно технической характеристике [15].

Таблица 2.1

Температура уходящих газов для котлов $D \leq 20 \text{ кг/с}$ [17]

Топливо	θ_{yx} , °С	Топливо	Содержание серы, S^r , %	θ_{yx} , °С
Угли с $W_{\text{пр}}^r = 1-5^{1)}$	140÷150	Мазут	до 1,0	140
Торф и древесные отходы	170÷190 ²⁾		1,1-2,0	150
Природный газ	120÷130		2,1-3,0	160
			свыше 3,0	165

Примечание: 1) $W_{\text{пр}}^r = W^r / Q_i^r$ – приведенное содержание влаги в рабочей массе топлива, кг-%/МДж; 2) При наличии воздухоподогревателя.

II способ

Если в характеристике топлива приведены значения V^0 и V_r^0 [15], то расчет расхода удаляемых в атмосферу продуктов сгорания значительно упрощается.

$$V_{\text{ух}} = B_{\text{р(ку)}}^c \cdot \left[V_r^0 + 1,0161 \cdot V^0 (\alpha_{\text{ух}} - 1) \right] \cdot (\theta_{\text{ух}} + 273,15) / 273,15, \quad (2.11)$$

где $B_{\text{р(ку)}}^c$ - расчетный секундный расход топлива на котельную (см.табл.1.1), кг/с ($\text{м}^3/\text{с}$) для рассматриваемого периода (зимнего, летнего/переходного); $\alpha_{\text{ух}}$ - коэффициент избытка воздуха в уходящих газах, принимается согласно рекомендациям [17, п. 4-Б, С. 27]; $\theta_{\text{ух}}$ - температура газов на выходе из дымовой трубы, °С. Принимается согласно рекомендациям [17, прил. II, п. 13.7, для угля и газа табл. II-6 С. 121, для мазута табл. II-4, С. 120] или не ниже значений, указанных в табл. 2.1. Для водогрейных котлов принимается согласно технической характеристике [15]; V^0 - теоретически необходимый объем воздуха для сжигания единицы топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$); V_r^0 - теоретический объем газов при $\alpha = 1$, образующихся при сжигании единицы топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$ ($\text{м}^3/\text{м}^3$).

3. РАСЧЕТ МАССЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВЫБРОСАХ КОТЕЛЬНОЙ

При проектировании и реконструкции котельных установок с паровыми котлами производительностью менее 30 т/ч и водогрейными котлами мощностью до 35 МВт (30 Гкал/ч) расчет массы загрязняющих веществ проводится в соответствии с нормативными документами [2, 3].

Расчет массы токсичных веществ (CO, NO_x, SO₂, твердых частиц, бенз(а)пирена) производится для двух временных промежутков: годовой (валовый) выброс веществ, т/год (необходим для подсчета платы за загрязнение) и секундный выброс загрязняющих веществ, г/с (необходим для расчета рассеивания токсичных веществ в атмосфере).

Результаты расчета рекомендуется сводить в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Масса загрязняющих веществ в выбросах котельной

Период года	Ед. изм.	Масса выбрасываемых загрязняющих веществ						
		CO	NO ₂	NO	SO ₂	Зола	Сажа (Кокс)	Бенз(а)пирен
<i>При сжигании основного топлива:</i>								
зимний	г/с							
летний (переходный)	г/с							
годовой	т/год							
<i>При сжигании резервного топлива:</i>								
зимний	г/с							
годовой	т/год							

3.1. Расчет массы оксида углерода

Масса выбросов оксида углерода, г/с (т/год) определяется по формулам: *при сжигании природного газа* в соответствии с [3]:

– при определении максимальных выбросов, г/с:

$$M_{CO} = B_{кy}^c \cdot C_{CO}, \quad (3.1)$$

где $B_{кy}^c$ – секундный (зимний, летний/переходный) расход топлива котельной, м³/с;
 C_{CO} – количество оксида углерода при сжигании топлива, г/м³ (см. ф-лу (3.4)).

– при определении валовых выбросов, т/год:

$$M_{CO} = 10^{-3} B_{ку}^{год} \cdot C_{CO}, \quad (3.2)$$

где $B_{ку}^{год}$ – годовой расход топлива котельной, тыс. м³/год; C_{CO} – количество оксида углерода при сжигании топлива, кг/тыс. м³ (см. ф-лу (3.4)).

при сжигании твердого топлива и мазута:

$$M_{CO} = 10^{-3} B_{ку}^{с,год} \cdot C_{CO} (1 - q_4/100), \quad (3.3)$$

где $B_{ку}^{с,год}$ – секундный (зимний, летний/переходный) или годовой расход топлива на котельную, г/с (т/год); C_{CO} – количество оксида углерода при сжигании топлива, г/кг (см. ф-лу (3.4)); q_4 – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Количество оксида углерода C_{CO} , г/кг (г/м³) при сжигании любого топлива рассчитывается по формуле:

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q_i^f, \quad (3.4)$$

где q_3 – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, %; R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания, обусловленную наличием в продуктах сгорания оксида углерода. Принимается для твердого топлива $R = 1,0$; для мазута $R = 0,65$; для природного газа $R = 0,5$; Q_i^f – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг (МДж/м³).

При отсутствии эксплуатационных данных значения q_3 , q_4 рекомендуется принять по приложению А данных методических указаний.

3.2. Расчет массы оксидов азота

Суммарное количество оксидов азота (в пересчете на NO₂), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, M_{NO_x} , г/с (т/год) рассчитывается по формулам (3.7), (3.15), (3.20) при сжигании природного газа, мазута и твердого топлива соответственно. Затем в связи с установленными отдельными ПДК для оксида NO и диоксида азота NO₂ и с учетом трансформации оксида азота в атмосферном воздухе суммарные выбросы оксидов азота, г/с (т/год) разделяются на составляющие:

$$M_{NO_2} = 0,8 \cdot M_{NO_x} \quad (3.5)$$

$$M_{NO} = 0,13 \cdot M_{NO_x} \quad (3.6)$$

при сжигании природного газа, г/с (т/год):

$$M_{NO_x} = B_{р(ку)}^{с,год} \cdot Q_i^f \cdot K_{NO_2} \cdot \beta_k \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_\pi, \quad (3.7)$$

где $B_{p(кy)}^{c, год}$ – расчетный секундный (зимний, летний/переходный), м³/с, или годовой расход топлива котельной установкой, тыс. м³/год; Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м³; $K_{NO_2}^r$ – удельный выброс оксидов азота при сжигании газа, г/МДж; β_k – безразмерный коэффициент, учитывающий принципиальную конструкцию горелки; β_t – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения; β_α – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота; β_r – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов на образование оксидов азота; β_δ – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру; $k_{п}$ – коэффициент пересчета. При определении выбросов в граммах в секунду $k_{п} = 1$; при определении выбросов в тоннах в год $k_{п} = 10^{-3}$. При определении максимальных выбросов оксидов азота (г/с) по данной формуле значения входящих в формулу величин определяются при максимальной тепловой мощности котла; при определении валовых выбросов оксидов азота (т/год) – по средней нагрузке котла за рассматриваемый промежуток времени.

Удельный выброс оксидов азота, г/МДж определяется по формулам:

– для паровых котлов:

$$K_{NO_2}^r = 0,01 \cdot \sqrt{D} + 0,03, \quad (3.8)$$

где D – фактическая паропроизводительность котлоагрегата, т/ч.

– для водогрейных котлов:

$$K_{NO_2}^r = 0,0113 \cdot \sqrt{Q_T} + 0,03, \quad (3.9)$$

где Q_T – фактическая тепловая мощность котла по теплоте, введенной в топку, МВт (МДж/с). Определяется по формуле:

$$Q_T = B_{p(к)}^c \cdot Q_i^r, \quad (3.10)$$

где Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/м³ (МДж/кг); $B_{p(к)}^c$ – секундный расчетный расход топлива на котел, м³/с (кг/с). Определяется аналогично формуле (1.6). При сжигании природного газа $B_{p(к)}^c = B_k^c$, м³/с (см. ф-лу (1.1)); при сжигании мазута и твердого топлива, кг/с:

$$B_{p(к)}^c = B_k^c (1 - q_4/100), \quad (3.11)$$

где B_k^c – фактический секундный расход топлива на котел, кг/с (см. ф-лу (1.1)); q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания, %. При отсутствии эксплуатационных данных можно принять по прил. А.

Коэффициент β_k для всех дутьевых горелок напорного типа (т.е. при наличии дутьевого вентилятора на котле) принимается $\beta_k = 1,0$; для горелок инжекционного типа принимается $\beta_k = 1,6$; для горелок двухступенчатого сжигания (ГДС) $\beta_k = 0,7$.

Коэффициент β_t , учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, определяется по формуле (3.12) только в том случае, если на котле имеет место предварительный подогрев воздуха в воздухоподогревателе или осуществляется рециркуляция дымовых газов.

$$\beta_t = 1 + 0,002 \cdot (t_{гв} - 30), \quad (3.12)$$

где $t_{гв}$ – температура горячего воздуха, подаваемого для горения °С.

Для всех остальных случаев принимается $\beta_t=1$.

Коэффициент β_α в общем случае принимается $\beta_\alpha = 1,225$, при работе котла в соответствии с режимной картой $\beta_\alpha = 1$. Для котлов с напорными (дутьевыми) горелками или горелками ГДС необходимо использовать формулу (19) [2]. Для котлов с инжекционными горелками влияние избытка воздуха учитывается коэффициентом β_α^H по формуле (20) [2].

Коэффициент β_r при подаче газов рециркуляции в смеси с воздухом рассчитывается по формуле:

$$\beta_r = 0,16\sqrt{r}, \quad (3.13)$$

где r – степень рециркуляции дымовых газов, %.

Коэффициент β_δ , определяется по формуле:

$$\beta_\delta = 0,022 \delta, \quad (3.14)$$

где δ – доля воздуха, подаваемого непосредственно в топочную камеру, % от общего количества организованного воздуха.

при сжигании мазута, г/с (т/год):

$$M_{\text{NO}_x} = B_{p(\text{ку})}^{\text{с,год}} \cdot Q_i^r \cdot K_{\text{NO}_2}^M \cdot \beta_t \cdot \beta_\alpha \cdot (1 - \beta_r) \cdot (1 - \beta_\delta) \cdot k_n, \quad (3.15)$$

где $B_{p(\text{ку})}^{\text{с,год}}$ – секундный (зимний, летний/переходный) или годовой расчетный расход топлива котельной установкой, кг/с (т/год); Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; $K_{\text{NO}_2}^M$ – удельный выброс оксидов азота при сжигании мазута, г/МДж; β_t – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения; определяется по формуле (3.12)); β_α – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на образование оксидов азота при сжигании мазута; β_r – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов на образование оксидов азота; β_δ – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру; k_n – коэффициент пересчета. При определении выбросов в граммах в секунду $k_n = 1$; при определении выбросов в тоннах в год $k_n = 10^{-3}$.

Удельный выброс оксидов азота, г/МДж, определяется по формулам:

– для паровых котлов:

$$K_{\text{NO}_2}^{\text{M}} = 0,01 \cdot \sqrt{D} + 0,1, \quad (3.16)$$

где D – фактическая паропроизводительность котла, т/ч.

– для водогрейных котлов:

$$K_{\text{NO}_2}^{\text{M}} = 0,0113 \cdot \sqrt{Q_{\text{T}}} + 0,1, \quad (3.17)$$

где Q_{T} – фактическая тепловая мощность котла по теплоте, введенной в топку, МВт (МДж/с). Определяется по ф-ле (3.10)).

Коэффициент β_{α} в общем случае принимается $\beta_{\alpha} = 1,113$; при работе котла в соответствии с режимной картой $\beta_{\alpha} = 1$. При наличии результатов испытаний котла с измерением O_2 и CO для более точного учета избытка воздуха используют формулу (27) [2].

Коэффициент β_{r} при подаче газов рециркуляции в смеси с воздухом рассчитывается по формуле:

$$\beta_{\text{r}} = 0,17 \sqrt{r}, \quad (3.18)$$

где r – степень рециркуляции дымовых газов, %.

Коэффициент β_{δ} рассчитывается по формуле:

$$\beta_{\delta} = 0,018 \delta, \quad (3.19)$$

где δ – доля воздуха, подаваемого непосредственно в топочную камеру, % от общего количества организованного воздуха).

при слоевом сжигании твердого топлива, г/с (т/год):

Для котлов, оборудованных топками с неподвижной, цепной решеткой, с пневмомеханическим забрасывателем и для шахтных топок с наклонной решеткой суммарное количество оксидов азота NO_x в пересчете на NO_2 (в г/с, т/год), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{NO}_x} = B_{\text{p(ку)}}^{\text{с,год}} \cdot Q_{\text{i}}^{\text{r}} \cdot K_{\text{NO}_2}^{\text{r}} \cdot \beta_{\text{r}} \cdot k_{\text{п}}, \quad (3.20)$$

где $B_{\text{p(ку)}}^{\text{с,год}}$ – расчетный секундный (зимний, летний/переходный) или годовой расход топлива котельной установкой, кг/с (т/год); Q_{i}^{r} – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; β_{r} – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов, подаваемых в смеси с дутьевым воздухом под колосниковую решетку, на образование оксидов азота; $k_{\text{п}}$ – коэффициент пересчета: при определении выбросов в

граммах в секунду $k_{\text{п}} = 1$; при определении выбросов в тоннах в год $k_{\text{п}} = 10^{-3}$; $K_{\text{NO}_2}^{\text{T}}$ – удельный выброс оксидов азота при слоевом сжигании твердого топлива, г/МДж.

Величина $K_{\text{NO}_2}^{\text{T}}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{NO}_2}^{\text{T}} = 11 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha_{\text{T}} \left(1 + 5,46 \frac{100 - R_6}{100} \right) \cdot \sqrt[4]{Q_{\text{T}}^{\text{T}} q_{\text{R}}}, \quad (3.21)$$

где α_{T} – коэффициент избытка воздуха в топке; принимается по приложению А; R_6 – характеристика гранулометрического состава угля – остаток на сите с размером ячеек 6 мм, %. Принимается по сертификату на топливо или по опытным данным. При отсутствии характеристики гранулометрического состава: для углей и сланцев значение R_6 следует принимать равным 40%; при сжигании дров или торфа $R_6 = 50\%$; q_{R} – тепловое напряжение зеркала горения, МВт/м², определяется по формуле (3.22).

$$q_{\text{R}} = Q_{\text{T}} / F, \quad (3.22)$$

где Q_{T} – фактическая тепловая мощность котла, МВт. Определяется по ф-ле (3.10); F – площадь зеркала горения, м². Определяется по паспортным данным топки котла или принимается по [15].

Коэффициент β_{T} определяется по формуле:

$$\beta_{\text{T}} = 1 - 0,075\sqrt{r}, \quad (3.23)$$

где r – степень рециркуляции дымовых газов, %.

3.3. Расчет массы оксидов серы

Суммарное количество оксидов серы, выбрасываемых атмосферу с дымовыми газами, г/с (т/год) рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot B_{\text{p(ку)}}^{c, \text{год}} \cdot S^{\text{T}} \cdot (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{SO}_2}), \quad (3.24)$$

где $B_{\text{p(ку)}}^{c, \text{год}}$ – расчетный секундный (зимний, летний/переходный) или годовой расход топлива на котельную, г/с (т/год); S^{T} – содержание серы в рабочей массе топлива, %; η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле, принимается по табл. 3.2 [2]; η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц.

Таблица 3.2

Доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле

Топливо	η'_{SO_2}	Топливо	η'_{SO_2}
Мазут	0,02	Березовские угли Канско-Ачинского бассейна:	
Сланцы эстонские и ленинградские	0,8	для топок с твердым шлакоудалением	0,5
Сланцы других месторождений	0,5	для топок с жидким шлакоудалением	0,2
Торф	0,15	Другие угли Канско-Ачинского бассейна:	
Экибастузский уголь	0,02	для топок с твердым шлакоудалением	0,2
Угли других месторождений	0,1	для топок с жидким шлакоудалением	0,05

Величина η''_{SO_2} принимается: для сухих золоуловителей равной нулю;

для мокрых – зависит от общей щелочности орошающей воды и приведенной сернистости топлива $S^{пр}$, (%·кг)/МДж. При характерных для эксплуатации удельных расходах воды на орошение золоуловителей ($0,1 \div 0,15 \text{ дм}^3/\text{м}^3$) η''_{SO_2} определяется по рис. 3.1.

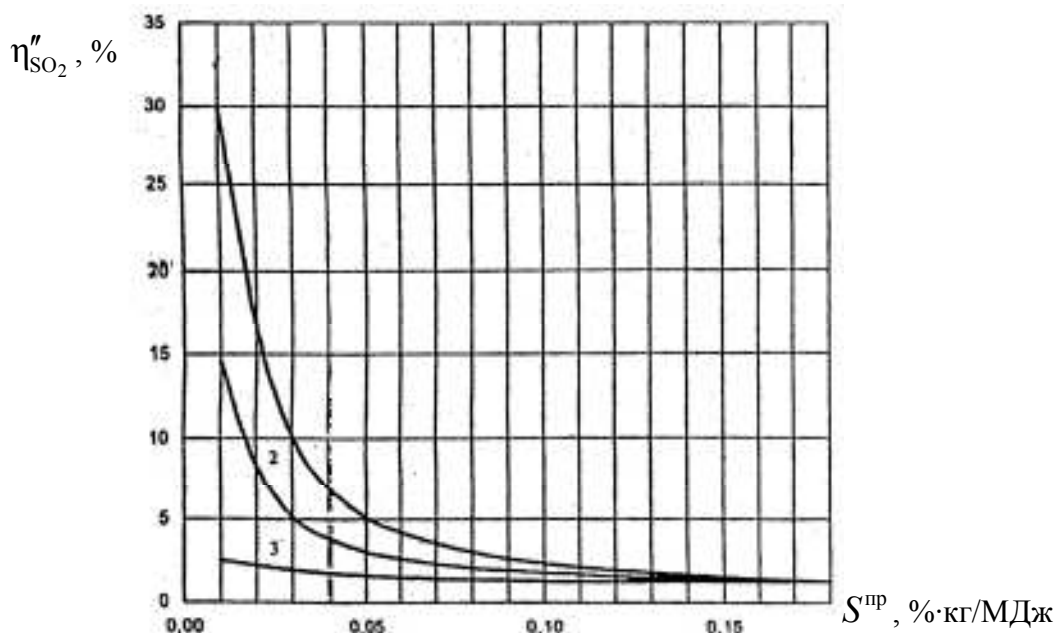


Рис. 3.1 Определение доли оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе: 1 – щелочность орошающей воды 10 мг-экв/дм³; 2 – щелочность орошающей воды 5 мг-экв/дм³; 3 – щелочность орошающей воды - отсутствует

При расчете выбросов оксидов серы в случае наличия сероводорода в газовом топливе необходимо пользоваться рекомендациями [2, 3].

3.4. Расчет массы твердых частиц

При сжигании мазута твердые частицы выделяются в виде золы и сажи. Мазутная зола представляет собой сложную смесь, состоящую в основном из оксидов металлов, в том числе наиболее токсичного пентаоксида ванадия (V_2O_5).

Суммарное количество мазутной золы в пересчете на ванадий, г/с (т/год), поступающей в атмосферу с дымовыми газами котла при сжигании мазута, вычисляют по формуле:

$$M_{\text{МЗ}} = G_v \cdot B_{\text{ку}}^{\text{ч, год}} \cdot (1 - \eta_{\text{ос}}) \cdot (1 - \eta_{\text{зв}}^v / 100) \cdot k_{\text{п}}, \quad (3.25)$$

где G_v – количество ванадия, находящегося в 1 т мазута, г/т; $B_{ку}^{ч, год}$ – часовой (зимний, летний/переходный) или годовой максимальный расход топлива котельной. При определении выбросов в г/с $B_{ку}$ берется в т/ч; при определении выбросов в т/год $B_{ку}$ берется в т/год; $\eta_{ос}$ – доля ванадия, оседающего с твердыми частицами на поверхности нагрева мазутных котлов, которую принимают равной: 0,07 – для котлов с пароперегревателями, очистка поверхностей которых производится в остановленном состоянии; 0,05 – для котлов без пароперегревателей при тех же условиях очистки; $\eta_{зу}^v$ – степень очистки дымовых газов от мазутной золы в золоулавливающих установках; $k_{п}$ – коэффициент пересчета: при определении выбросов в г/с $k_{п} = 0,278 \cdot 10^{-3}$; при определении выбросов в т/год $k_{п} = 10^{-6}$.

Количество ванадия на 1 т мазута G_v , г/т может быть определено по результатам химического анализа мазута, либо при отсутствии данных химического анализа по приближенной формуле:

$$G_v = 2222 \cdot A^r, \quad (3.26)$$

где 2222 – эмпирический коэффициент; A^r – содержание золы в мазуте на рабочую массу, %. При отсутствии данных химического анализа значения A^r принимаются по данным [17].

Степень очистки газов от мазутной золы (в пересчете на ванадий), $\eta_{зу}^v$, % в случае применения батарейных циклонов при степени очистки $65 \% < \eta_{зу,общ} < 85 \%$ определяют по формуле:

$$\eta_{зу}^v = 0,076 \cdot (\eta_{зу,общ})^{1,85} - 2,32 \cdot \eta_{зу,общ}, \quad (3.27)$$

где 0,076 и 2,32 – эмпирические коэффициенты; 1,85 – эмпирический показатель степени; $\eta_{зу,общ}$ – общая степень улавливания твердых частиц, образующихся при сжигании мазута в котельных, %. В расчетах можно принять по [15, табл. 11.10, С. 346].

Количество сажи при сжигании мазута, г/с (т/год) определяют по формуле:

$$M_C = 0,01 \cdot B_{ку}^{с, год} \cdot a_{ун} \cdot A^r \cdot (1 - \eta_3), \quad (3.28)$$

где $B_{ку}^{с, год}$ – секундный (зимний, летний/переходный) или годовой максимальный расход топлива на котельную, г/с (т/год); A^r – зольность топлива на рабочую массу, %; $a_{ун}$ – доля золы топлива в уносе. При отсутствии данных замеров можно использовать ориентировочные значения, приведенные в [17]; η_3 – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях. При определении максимальных выбросов в г/с используются максимальные значения A^r фактически использовавшегося топлива. При определении валовых выбросов в т/год используются среднегодовые значения A^r .

При сжигании дизельного топлива и других легких жидких топлив определяются только выбросы сажи по формуле (3.28).

При сжигании твердого топлива суммарное количество твердых частиц, поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов (г/с, т/год), вычисляют по формуле:

$$M_{\text{ТВЧ}} = 0,01 \cdot B_{\text{КУ}}^{\text{с,год}} \cdot \left(a_{\text{УН}} \cdot A^{\text{Г}} + q_4 \frac{Q_i^{\text{Г}}}{32,68} \right) (1 - \eta_3), \quad (3.29)$$

где $B_{\text{КУ}}^{\text{с,год}}$ – секундный (зимний, летний/переходный) или годовой максимальный расход топлива на котельную, г/с (т/год); $A^{\text{Г}}$ – зольность топлива на рабочую массу, %; $a_{\text{УН}}$ – доля золы, уносимой газами из котла (доля золы топлива в уносе). При отсутствии данных замеров можно использовать ориентировочные значения, приведенные в [17]; η_3 – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях; q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %. При отсутствии данных можно использовать ориентировочные значения, приведенные в [17] или по прил. А; $Q_i^{\text{Г}}$ – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; 32,68 – теплота сгорания углерода, МДж/кг.

Твердые частицы при сжигании твердого топлива выбрасываются в виде летучей золы и несгоревшего топлива (кокса). Количество летучей золы, г/с (т/год), входящее в суммарное количество твердых частиц, уносимых в атмосферу, вычисляют по формуле:

$$M_3 = 0,01 \cdot B_{\text{КУ}}^{\text{с,год}} \cdot a_{\text{УН}} \cdot A^{\text{Г}} (1 - \eta_3), \quad (3.30)$$

где обозначения те же, что и в ф-ле (3.29).

Количество коксовых остатков при сжигании твердого топлива, г/с (т/год), образующихся в топке в результате механического недожога топлива и выбрасываемых в атмосферу, определяют по формуле:

$$M_{\text{К}} = M_{\text{ТВЧ}} - M_3, \quad (3.31)$$

3.5. Расчет массы бенз(а)пирена

Суммарное количество бенз(а)пирена, поступающего в атмосферу с дымовыми газами, г/с (т/год) определяется по формуле:

$$M_{\text{БП}} = c'_{\text{БП}} \cdot V_{\text{СГ}} \cdot B_{\text{Р(КУ)}}^{\text{ч,год}} \cdot k_{\text{П}}, \quad (3.32)$$

где $c'_{\text{БП}}$ – массовая концентрация бенз(а)пирена в сухих дымовых газах при стандартном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_0 = 1,4$ и нормальных условиях (температура 273 К и давление 101,3 кПа), мг/м³; $V_{\text{СГ}}$ – объем сухих дымовых газов, образующихся при полном сгорании 1 кг (1 м³) топлива при $\alpha_0 = 1,4$ (см. ф-лу (3.33)), м³/кг (м³/м³); $B_{\text{Р(КУ)}}^{\text{ч,год}}$ – часовой (зимний, летний/переходный) расчетный расход топлива котельной*. При определении выбросов в граммах в секунду $B_{\text{Р}}$ берется в т/ч (тыс. м³/ч);

при определении валовых выбросов в тоннах в год V_p берется в т/год (тыс. м³/год). $k_{п}$ – коэффициент пересчета; при определении выбросов в граммах в секунду $k_{п} = 0,278 \cdot 10^{-3}$; при определении выбросов в тоннах в год $k_{п} = 10^{-6}$.

Объем сухих дымовых газов, м³/кг (м³/м³) определяется по формуле:

$$V_{сг} = V_{N_2}^0 + V_{RO_2} + (\alpha_0 - 1) \cdot V^0, \quad (3.33)$$

где $V_{N_2}^0, V_{RO_2}, V^0$ – теоретические объемы азота, трехатомных газов и воздуха соответственно при сжигании единицы топлива, м³/кг (м³/м³). Принимаются по химическому составу сжигаемого топлива или табличным данным [2, 3, 17]. Также данные объемы можно рассчитать по формулам, представленным в разделе 2 (I способ) для соответствующего вида топлива; $\alpha_0 = 1,4$ – стандартный коэффициент избытка воздуха.

Массовая концентрация бенз(а)пирена при стандартном коэффициенте избытка воздуха $\alpha_0 = 1,4$ вычисляется по формуле:

$$c'_{бп} = c_{бп} \cdot \frac{\alpha}{\alpha_0}, \text{ мг/м}^3 \quad (3.34)$$

где α – коэффициент избытка воздуха в расчетном сечении газового тракта; $c_{бп}$ – концентрация бенз(а)пирена при коэффициенте избытка воздуха на выходе из топки, мг/м³. Рассчитывается при сжигании природного газа или мазута по формулам (3.35) – (3.38) для паровых котлов малой мощности или по формулам (3.40) – (3.43) для водогрейных котлов малой мощности; при сжигании твердого топлива по формуле (3.44).

3.5.1. Расчет концентрации бенз(а)пирена в дымовых газах паровых котлов малой мощности

При сжигании мазута концентрация бенз(а)пирена, мг/м³ в сухих продуктах сгорания на выходе из топочной камеры паровых котлов определяется по формулам:

– для $\alpha''_т = 1,08-1,25$:

$$c_{бп}^м = 10^{-3} \cdot \frac{R \cdot (0,34 + 0,42 \cdot 10^{-3} q_v)}{e^{3,8(\alpha''_т-1)}} K_d K_p K_{ст}, \quad (3.35)$$

* При расчетах выбросов бенз(а)пирена необходимо учитывать, что при работе котла на нагрузках меньше номинальной концентрация бенз(а)пирена в уходящих газах увеличивается. Поэтому необходимо определять максимальные выбросы бенз(а)пирена как при работе котла на максимальной фактической нагрузке, так и при работе на минимальной фактической нагрузке с целью всесторонней оценки загрязнения атмосферного воздуха и обоснованного установления нормативов выбросов.

– для $\alpha''_T > 1,25$:

$$c_{\text{бп}}^{\text{м}} = 10^{-3} \cdot \frac{R \cdot (0,172 + 0,23 \cdot 10^{-3} q_V)}{e^{1,14 \cdot (\alpha''_T - 1)}} K_{\text{д}} K_{\text{р}} K_{\text{ст}}, \quad (3.36)$$

При сжигании природного газа концентрация бенз(а)пирена, мг/м³ в сухих продуктах сгорания на выходе из топочной камеры паровых котлов определяется по формулам:

– для $\alpha''_T = 1,08 - 1,25$:

$$c_{\text{бп}}^{\text{г}} = 10^{-3} \cdot \frac{0,059 + 0,079 \cdot 10^{-3} q_V}{e^{3,8 \cdot (\alpha''_T - 1)}} K_{\text{д}} K_{\text{р}} K_{\text{ст}}, \quad (3.37)$$

– для $\alpha''_T > 1,25$:

$$c_{\text{бп}}^{\text{г}} = 10^{-3} \cdot \frac{0,032 + 0,043 \cdot 10^{-3} q_V}{e^{1,14 \cdot (\alpha''_T - 1)}} K_{\text{д}} K_{\text{р}} K_{\text{ст}}, \quad (3.38)$$

В формулах (3.35)-(3.38):

R – коэффициент, учитывающий способ распыливания мазута для паромеханических форсунок $R = 0,75$; для остальных случаев и при сжигании природного газа $R = 1$; α''_T – коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания на выходе из топки; q_V – теплота сгорания топочного объема, кВт/м³; $K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки котла на концентрацию бенз(а)пирена в продуктах сгорания; $K_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов на концентрацию бенз(а)пирена в продуктах сгорания; $K_{\text{ст}}$ – коэффициент, учитывающий влияние ступенчатого сжигания на концентрацию бенз(а)пирена в продуктах сгорания. Коэффициенты $K_{\text{д}}$, $K_{\text{р}}$ и $K_{\text{ст}}$ определяются по прил. В.

Величина q_V , кВт/м³ принимается из характеристики котла [15], либо рассчитывается по соотношению:

$$q_V = B_{\text{р(к)}}^{\text{с}} \cdot Q_i^{\text{г}} / V_{\text{т}}, \quad (3.39)$$

где $B_{\text{р(к)}}^{\text{с}}$ – секундный расчетный расход топлива котлом на номинальной нагрузке, кг/с (м³/с); $Q_i^{\text{г}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг (кДж/м³); $V_{\text{т}}$ – объем топочной камеры, м³. Принимается из технической документации на котел или по [15].

3.5.2. Расчет концентрации бенз(а)пирена в дымовых газах водогрейных котлов

При сжигании мазута концентрация бенз(а)пирена, мг/м³ в сухих продуктах сгорания на выходе из топочной камеры водогрейных котлов определяется по формулам:

– для $\alpha''_T = 1,05 - 1,25$ и $q_V = 250 \div 500$ кВт/м³:

$$c_{\text{бп}}^M = 10^{-6} \cdot \frac{R \cdot (0,445 \cdot q_V - 28,0)}{e^{3,5(\alpha''_T - 1)}} K_D K_P K_{\text{ст}} K_O, \quad (3.40)$$

– для $\alpha''_T > 1,25$ и $q_V = 250 \div 500$ кВт/м³:

$$c_{\text{бп}}^M = 10^{-6} \cdot \frac{R \cdot (0,52 \cdot q_V - 32,5)}{1,16 \cdot e^{3,5(\alpha''_T - 1)}} K_D K_P K_{\text{ст}} K_O, \quad (3.41)$$

При сжигании природного газа концентрация бенз(а)пирена, мг/м³, в сухих продуктах сгорания на выходе из топочной камеры водогрейных котлов малой мощности определяется по формулам:

– для $\alpha''_T = 1,05 - 1,25$ и $q_V = 250 \div 500$ кВт/м³:

$$c_{\text{бп}}^Г = 10^{-6} \cdot \frac{0,11 \cdot q_V - 7,0}{e^{3,5(\alpha''_T - 1)}} K_D K_P K_{\text{ст}}, \quad (3.42)$$

– для $\alpha''_T > 1,25$ и $q_V = 250 \div 500$ кВт/м³:

$$c_{\text{бп}}^Г = 10^{-6} \cdot \frac{0,13 \cdot q_V - 5,0}{1,3 \cdot e^{3,5(\alpha''_T - 1)}} K_D K_P K_{\text{ст}}, \quad (3.43)$$

В формулах (3.40) – (3.43) обозначения те же, что и в формулах (3.35)-(3.38); коэффициенты K_D , K_P , $K_{\text{ст}}$ принимаются по [2, прил. Е]). Также коэффициенты K_D , K_P и $K_{\text{ст}}$ можно определить по прил. В.

Коэффициент K_O , учитывающий влияние дробевой очистки конвективных поверхностей нагрева на работающем котле, принимается:

при периоде между очистками 12 ч	1,5
при периоде между очистками 24 ч	2,0
при периоде между очистками 48 ч	2,5

3.5.3. Расчет концентраций бенз(а)пирена в уходящих газах котлов при слоевом сжигании твердых топлив

Концентрацию бенз(а)пирена в сухих дымовых газах котлов *при слоевом сжигании твердых топлив* $c_{\text{бп}}$ (мг/м³) рассчитывают по формуле:

$$c_{\text{бп}} = 10^{-3} \cdot \left(\frac{A \cdot Q_i^r}{e^{2,5\alpha''_T}} + \frac{R}{t_n} \right) \cdot K_D \cdot K_{\text{зу}} \quad (3.44)$$

где A – коэффициент, характеризующий тип колосниковой решетки и вид топлива. Принимается для углей и сланцев: $A = 2,5$; для древесины и торфа: $A = 1,5$; Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; t_n – температура насыщения при давлении в барабане паровых котлов или воды на выходе из котла для водогрейных котлов [15]; R – коэффициент, характеризующий температурный уровень экранов; для $t_n \geq 150^\circ\text{C}$ $R = 350$; для $t_n < 150^\circ\text{C}$ $R = 290$; $K_{\text{зу}}$ – коэффициент, учитывающий степень улавливания бенз(а)пирена золоуловителем; K_D – коэффициент, учитывающий нагрузку котла:

$$K_{\text{д}} = \left(\frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{ф}}} \right)^{1,2} \quad (3.45)$$

где $D_{\text{н}}$ – номинальная нагрузка котла, кг/с; $D_{\text{ф}}$ – фактическая нагрузка котла, кг/с;

Коэффициент $K_{\text{зy}}$ определяется по соотношению:

$$K_{\text{зy}} = 1 - \eta_{\text{зy}} \cdot z/100 \quad (3.46)$$

где $\eta_{\text{зy}}$ – степень очистки газов в золоуловителе по золе, %; z – коэффициент, учитывающий снижение концентрации бенз(а)пирена золоуловителем:

при температуре газов перед золоуловителем $t'_{\text{зy}} \geq 185^{\circ}\text{C}$

$z = 0,8$ - для сухих золоуловителей

$z = 0,9$ - для мокрых золоуловителей

при температуре газов перед золоуловителем $t'_{\text{зy}} < 185^{\circ}\text{C}$

$z = 0,7$ - для сухих золоуловителей

$z = 0,8$ - для мокрых золоуловителей.

Рассчитанные концентрации $c_{\text{бп}}$ по формулам (3.35) – (3.38), (3.40) – (3.44) приводятся к стандартному избытку воздуха $\alpha_0 = 1,4$ по формуле (3.34). Затем по рассчитанной концентрации $c'_{\text{бп}}$ определяется массовый выброс бенз(а)пирена по формуле (3.32).

4. РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

Для практических расчетов рассеивания вредных веществ в атмосфере используется нормативный метод [5], разработанный геофизической обсерваторией (ОНД–86). Метод основан на математической модели рассеивания газообразных и аэрозольных примесей в атмосфере воздуха.

Используя нормативный метод (ОНД–86) можно:

- рассчитать концентрации вредных и любых других примесей в составе выбрасываемых газов в двухметровом слое над уровнем земли (“приземные” концентрации);
- рассчитать концентрации вредных веществ в вертикальном и горизонтальном сечениях факела выбросов.

Нормативный метод позволяет рассчитать поля концентраций токсичных веществ, создаваемые как дымовыми трубами, так и плоскостными и линейными источниками.

Ниже приводится методика расчета рассеивания выбросов от горячего *точечного* источника (дымовой трубы котельной, технологической печи и т.п.).

4.1. Определение максимальных значений приземных концентраций токсичных веществ

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества при выбросе газовой смеси из одиночного источника с круглым устьем c_m , мг/м³ достигается при неблагоприятных метеорологических условиях (при опасной скорости ветра u_m) на расстоянии x_m , м от источника и определяется по формуле:

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt{V_{yx} \cdot \Delta T}} \quad (4.1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; F –

безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере; m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода смеси из устья источника; η – безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности. В случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающем 50 м на 1 км, $\eta = 1$, в ином случае определяется по [5, раздел 4]; H – высота источника выброса над уровнем земли (высота дымовой трубы котельной), м; V_{yx} – расход продуктов сгорания, $\text{м}^3/\text{с}$;
 ΔT – разность между температурой выбрасываемой смеси θ_{yx} и температурой окружающего воздуха t_n , °С:

$$\Delta T = \theta_{yx} - t_n, \quad (4.2)$$

где θ_{yx} – температура выбрасываемой смеси (температура продуктов сгорания), °С; t_n – температура окружающего воздуха, °С. Для зимнего периода t_n принимается равной средней температуре наиболее холодного месяца (января) [1, табл. 3]; для летнего периода – равной средней максимальной температуре воздуха наиболее теплого месяца [1, табл. 2].

Значение коэффициента A соответствует неблагоприятным метеоусловиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна. Принимается в зависимости от географической широты местности:

для районов южнее 40°с.ш., Читинской области, Бурятии	$A = 250$
для Европейской территории России южнее 50°с.ш., для районов Нижнего Поволжья, Кавказа, а также для Азиатской территории России, Дальнего Востока, остальной территории Сибири	$A = 200$
для Европейской территории России и Урала от 50 до 52°с.ш.	$A = 180$
для Европейской территории России и Урала севернее 52°с.ш. (Н.Новгород и область от 54 до 58°с.ш.)	$A = 160$
для Московской, Тульской, Рязанской, Владимирской, Калужской, Ивановской области	$A = 140$

Примечание: Для других территорий значения коэффициента A должны приниматься в соответствии со сходными условиями турбулентного обмена в атмосфере.

Значение безразмерного коэффициента F принимается:

для газообразных вредных веществ, не подчиняющихся закону Стокса, и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю)	$F = 1$
для бенз(а)пирена и сажи от котельных согласно [4]	$F = 1$
для мелкодисперсных аэрозолей (частицы несгоревшего твердого топлива – кокса) при среднем эксплуатационном коэффициенте очистки выбросов:	
$\eta_{оч} \geq 90\%$	$F = 2$
при $75\% < \eta_{оч} < 90\%$	$F = 2,5$
при отсутствии очистки	$F = 3,0$

Примечание: для остальных взвешенных веществ коэффициент F принимается в зависимости от скорости их оседания по [5, п. 2.5 и 4, п. 2.2.1].

Расчет распределения выбросов в атмосфере зависит от параметров

f , v_m , v'_m , f_e которые определяются конструктивными особенностями выбросных устройств – диаметром (D), м и высотой дымовой трубы (H) м, а также расходом и температурой продуктов сгорания.

$$f = 1000 \cdot (W_0^2 \cdot D) / (H^2 \cdot \Delta T), \quad (4.3)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_{yx} \Delta T}{H}}, \quad (4.4)$$

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{W_0 \cdot D}{H}, \quad (4.5)$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_m)^3, \quad (4.6)$$

где $W_0 = 4 \cdot V_{yx} / (\pi \cdot D^2)$ – скорость выхода продуктов сгорания на расчетный период года (зимний, летний/переходный), м/с; D – диаметр устья дымовой трубы, м.

Коэффициенты m и n учитывают подъем факела над трубой.

Обычно для рассматриваемых котельных средней и малой мощности параметр $f < 100$. Тогда коэффициент m определяется по формулам:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, \quad (4.7)$$

При $f < 100$ коэффициент n определяется по формулам:

$$\text{при } v_m \geq 2 \quad n = 1, \quad (4.8)$$

$$\text{при } 0,5 \leq v_m < 2 \quad n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13, \quad (4.9)$$

$$\text{при } v_m < 0,5 \quad n = 4,4 \cdot v_m, \quad (4.10)$$

При других значениях параметра $f \geq 100$ необходимо пользоваться формулами, приведенными в ОНД-86 [5, п.2.6 и 2.7].

4.2. Определение опасной скорости ветра

Расчет рассеивания примесей проводится по методике ОНД-86 [5] применительно к неблагоприятным метеорологическим условиям, т.е. таким, когда имеет место интенсивный турбулентный режим в атмосфере и скорость ветра достигает опасного значения (u_m).

Опасной называется скорость ветра, при которой концентрация вредных примесей на уровне дыхания достигает максимальных значений (c_m , мг/м³). При больших или меньших скоростях ветра концентрация

вредных веществ снижаются.

Значения опасной скорости ветра u_m , м/с приводятся на уровне флюгера (на высоте 10 м от уровня земли) и для горячих источников зависят от параметров v_m и f , рассчитанных ранее:

$$\text{при } v_m \leq 0,5 \quad u_m = 0,5; \quad (4.11)$$

$$\text{при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad u_m = v_m; \quad (4.12)$$

$$\text{при } v_m > 2 \quad u_m = v_m \cdot (1 + 0,12\sqrt{f}) \quad (4.13)$$

Для холодных источников ($\Delta T \approx 0$) значение u_m определяется по [5, (2.17 а, б, в)].

4.3. Определение расстояния от источника до координаты максимума концентраций

Для горячих источников расстояние x_m , м от источника до точки, в которой приземная концентрация достигает максимального значения c_m при неблагоприятных метеоусловиях, определяется по формуле:

$$x_m = \frac{5 - F}{4} \cdot H \cdot d, \quad (4.14)$$

где d – безразмерный коэффициент при $f < 100$ находится по формулам:

$$\text{при } v_m \leq 0,5 \quad d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f_e}); \quad (4.15)$$

$$\text{при } 0,5 < v_m \leq 2 \quad d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}); \quad (4.16)$$

$$\text{при } v_m > 2 \quad d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad (4.17)$$

Таким образом, концентрации c_m , рассчитанные по формуле (4.1), представляют собой максимумы, наблюдаемые под осью факела на расстоянии x_m от источника при опасной скорости ветра u_m .

Значения c_m , u_m , x_m рассчитываются для различных периодов года (зимний, летний/переходный) применительно к каждому токсичному веществу, выбрасываемому источником (CO, NO, NO₂, SO₂, БП, ТВЧ).

Полученные значения сводятся в таблицу 4.1

Таблица 4.1

Значения u_m (м/с); c_m (мг/м³); q_m для различных периодов года

Период	u_m , м/с	x_m , м	СО		NO ₂		NO		SO ₂		Зола		Сажа (Кокс)		Бенз(а)- пирен	
			c_m	q_m	c_m	q_m	c_m	q_m	c_m	q_m	c_m	q_m	c_m	q_m	c_m	q_m
<i>При сжигании основного топлива:</i>																
зимний																
летний (переходный)																
<i>При сжигании резервного топлива:</i>																
зимний																

Далее выполняется анализ данной таблицы с целью определения наиболее неблагоприятного периода воздействия котельной установки на воздушный бассейн. Кроме того, для всех веществ проверяется *максимальный вклад* в приземную концентрацию q_m , который определяется как отношение $c_m / \text{ПДК}_{м.р.}$. Если $q_m \leq 0,1$ то необходимо сделать пояснение, что котельная не считается источником загрязнения атмосферного воздуха по данному веществу согласно [7] и дальнейший расчет распределения концентраций по данным веществам не проводится.

Допускается выполнять последующие расчеты только для наиболее неблагоприятного периода года (по заданию руководителя).

4.4. Расчет распределения концентрации токсичных веществ

На расстояниях ближе или дальше x_m от источника при скорости ветра u , отличной от опасной u_m , а также при удалении от оси факела выбросов концентрации токсичных веществ снижаются

При расчете распределения концентрации токсичных веществ вводится ряд поправочных коэффициентов S_1, r, p, S_2 .

4.4.1 Расчет распределения концентраций вдоль оси факела (при опасной скорости ветра)

При опасной скорости ветра u_m на разных расстояниях x от источника приземная концентрация токсичных веществ по оси факела, мг/м³ определяется по формуле:

$$c = S_1 \cdot c_m, \quad (4.18)$$

где S_1 – коэффициент, учитывающий изменение концентраций вдоль факела; определяют по рис. 4.1 или по формулам:

$$\text{при } x/x_m \leq 1 \quad S_1 = 3 \cdot (x/x_m)^4 - 8 \cdot (x/x_m)^3 + 6 \cdot (x/x_m)^2, \quad (4.19)$$

$$\text{при } 1 < x/x_m \leq 8 \quad S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (x/x_m)^2 + 1}, \quad (4.20)$$

$$\text{при } F \leq 1,5 \text{ и } x/x_m > 8 \quad S_1 = \frac{(x/x_m)}{3,58 \cdot (x/x_m)^2 - 35,2 \cdot (x/x_m) + 120}, \quad (4.21)$$

$$\text{при } F > 1,5 \text{ и } x/x_m > 8 \quad S_1 = \frac{1}{0,1 \cdot (x/x_m)^2 + 2,47 \cdot (x/x_m) - 17,8}, \quad (4.22)$$

где x – расстояние от источника (дымовой трубы) до рассматриваемой точки.

При расчете распределения концентраций анализируется радиус зоны влияния источника на загрязнение атмосферы. Если нет особых указаний, для промышленных котельных можно принять значения x от 0 до 2000 м для дымовых труб высотой 30 м и от 0 до 4000 м для труб 45 м.

Для отопительных котельных небольшой мощности расстояние x необходимо принимать таким образом, чтобы до расстояния x_m было две–три расчетных точки, а последнюю точку размещать на расстоянии примерно равным $(6 \div 8)x_m$.

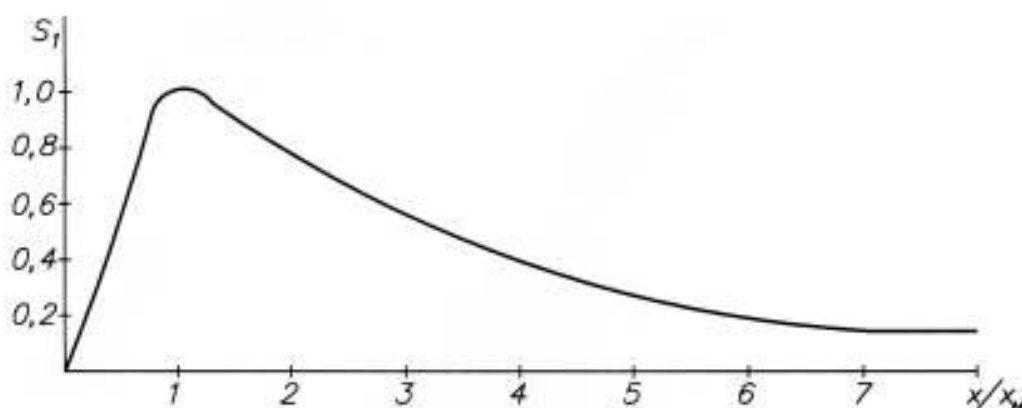


Рис. 4.1. График для определения коэффициента S_1 при $x/x_m \leq 8$

* Для низких источников высотой H не более 10 м при значениях $x/x_m < 1$ величина s_1 в формуле (4.19) заменяется на величину S_1^H , определяемую по [5, рис. 2.5] или по формуле при $2 < H \leq 10$ $S_1^H = 0,125 \cdot (10 - H) + 0,125 \cdot (H - 2)S_1$.

Для каждого из токсичных веществ, вклад которых в загрязнение атмосферы превышает 0,1 ПДК_{м.р.}, заполняются отдельные таблицы в форме табл. 4.2. В столбце «Примечание» необходимо указать ПДК_{м.р.}, мг/м³ (см. прил. Б) рассматриваемого загрязняющего вещества.

Таблица 4.2
Распределение концентрации i-го вещества вдоль оси факела

x, м	x/x _м	S ₁	Концентрация		Примечание
			c, мг/м ³	q (в долях ПДК)	
100					
200					
400					
600					
800					
1000					
1500					
2000					

Для дальнейших расчетов целесообразно привести сводную таблицу 4.3 по ранее выбранным токсичным веществам.

Таблица 4.3
Сводная таблица распределения концентраций вдоль оси факела при u_м

X, м	СО		NO ₂		SO ₂		q ^{NO₂+SO₂}	зола		сажа (кокс)		БП	
	мг/м ³	q	мг/м ³	q	мг/м ³	q		мг/м ³	q	мг/м ³	q	мг/м ³	q
100													
200													
300													
400													
600													
1000													
2000													

Далее выполняются графики, показывающие распределение концентрации вредного вещества в долях ПДК на различных расстояниях от источника.

4.4.2. Расчет распределения концентраций токсичных веществ при скоростях ветра по румбам

Максимальная приземная концентрация вредного вещества при ско-

ростях ветра, отличных от опасной, определяется по формуле:

$$c_{\text{му}} = r \cdot c_{\text{м}}, \quad (4.23)$$

где r – поправочный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения $u/u_{\text{м}}$ по графику (рис. 4.2) или по формулам:

$$\text{при } u/u_{\text{м}} \leq 1 \quad r = 0,67 \cdot (u/u_{\text{м}}) + 1,67 \cdot (u/u_{\text{м}})^2 - 1,34 \cdot (u/u_{\text{м}})^3, \quad (4.24)$$

$$\text{при } u/u_{\text{м}} > 1 \quad r = \frac{3 \cdot (u/u_{\text{м}})}{2 \cdot (u/u_{\text{м}})^2 - (u/u_{\text{м}}) + 2}, \quad (4.25)$$

где u – расчетная скорость ветра, м/с. Принимается по каждому румбу для расчетного периода (зима – январь; лето – июль), при отсутствии данных рекомендуется использовать СНиП 2.01.01-82 Строительная климатология и геофизика, прил. 4.

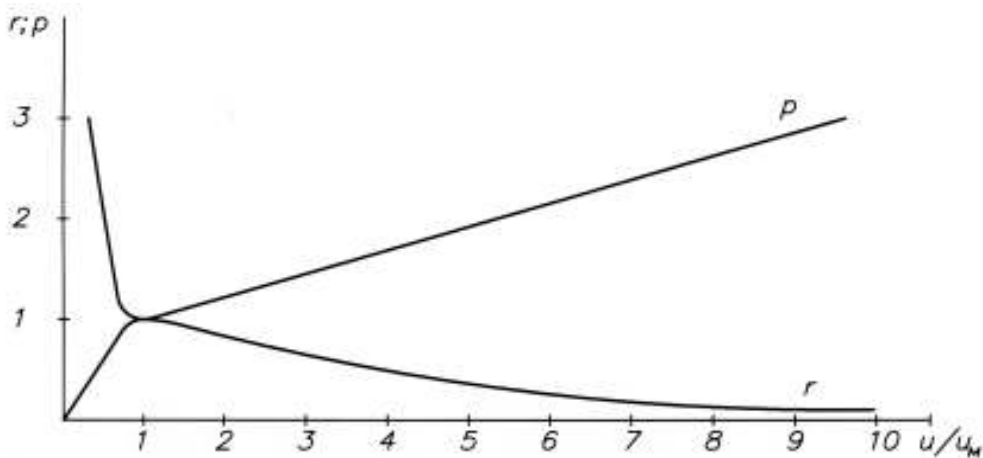


Рис. 4.2. График для определения коэффициентов r и p

Расчет приземных концентраций вредных веществ при неопасных скоростях ветра сводится в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Максимальная приземная концентрация $c_{\text{му}}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$)
токсичных веществ при скоростях ветра по румбам

Румбы	$u/u_{\text{м}}$	r	$c_{\text{му}}^{\text{CO}}$	$c_{\text{му}}^{\text{NO}_2}$	$c_{\text{му}}^{\text{NO}}$	$c_{\text{му}}^{\text{SO}_2}$	$c_{\text{му}}^3 \text{ (МЗ)}$	$c_{\text{му}}^{\text{C (К)}}$	$c_{\text{му}}^{\text{бп}}$
С									
СВ									
В									
ЮВ									
Ю									
ЮЗ									
З									
СЗ									

Расстояние от источника выброса $x_{\text{му}}$ (м), на котором при скорости

ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения $c_{ми}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$), определяется по формуле:

$$x_{ми} = p \cdot x_m, \quad (4.26)$$

где p – поправочный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения u/u_m по графику (рис.4.2) или по формулам:

$$\text{при } u/u_m \leq 0,25 \quad p = 3, \quad (4.27)$$

$$\text{при } 0,25 < u/u_m \leq 1 \quad p = 8,43 \cdot (1 - u/u_m)^3 + 1, \quad (4.28)$$

$$\text{при } u/u_m > 1 \quad p = 0,32 \cdot (u/u_m) + 0,68, \quad (4.29)$$

Расчет сводим в табл. 4.5.

Таблица 4.5

*Расстояния до максимального значения концентрации
i-го вещества по румбам*

Румбы	u/u_m	p	$x_{ми}^{CO}$	$x_{ми}^{NO_2}$	$x_{ми}^{NO}$	$x_{ми}^{SO_2}$	$x_{ми}^3 (M3)$	$x_{ми}^C (K)$	$x_{ми}^{бп}$
С									
СВ									
...									

На рис. 4.3 приведены кривые распределения концентраций вредных веществ c , $\text{мг}/\text{м}^3$, при опасной скорости ветра и концентраций c_u , $\text{мг}/\text{м}^3$, при скоростях ветра, отличающихся от опасной.

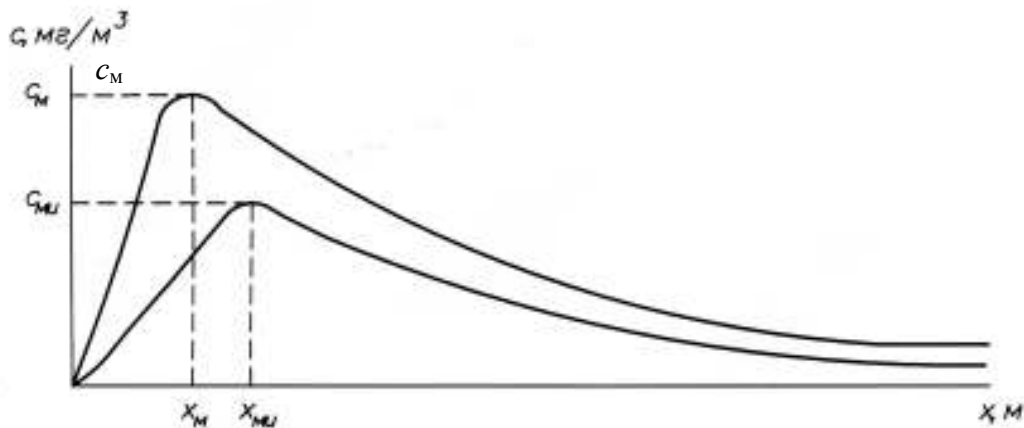


Рис. 4.3. Распределение приземных концентраций c и c_u под осью факела

Таким образом, при скоростях ветра, отличных от опасной, уровень максимальных концентраций снижается $c_{ми}$, $\text{мг}/\text{м}^3$, а координаты его смещаются.

4.4.3. Расчет распределения подфакельных концентраций

Для наглядной демонстрации реального распределения приземных концентраций при выбранном направлении ветра и соответствующей расчетной скорости ветра по румбу u , м/с выполняется построение подфакельных изолиний приземных концентраций.

Выбор направления согласовывается с руководителем проектирования. Как правило, это направление, в котором расположена ближайшая жилая застройка, или направление с преобладающей продолжительностью ветров по румбу. Из группы вредных веществ выбирается то вещество, вклад которого в приземную концентрацию в сумме с фоновой наибольший.

Исходные данные для построения подфакельных концентраций:

Расчетный период года	
Вредное вещество	
Выбранное направление ветра	
Скорость ветра по выбранному румбу u , м/с	
Опасная скорость ветра u_m , м/с	
Максимальная приземная концентрация выбранного вещества c_m , мг/м ³ (вклад источника)	
Расстояние до точки с максимальной концентрацией выбранного токсичного вещества x_m , м	
Максимальной приземная концентрация c_{mu} (мг/м ³) токсичного вещества при скорости ветра по выбранному румбу	
Расстояние от источника выброса x_{mu} (м), на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения c_{mu} (мг/м ³)	

Сначала определяется приземная концентрация вредного вещества под осью факела в заданном направлении при расчетной скорости ветра по румбу. По выбранному румбу и вычисляют значения S_1^u по формулам (4.19) – (4.22), где вместо x_m подставляют значение x_{mu} .

Приземная концентрация вдоль оси факела в выбранном направлении определяется по формуле:

$$c_u = S_1^u \cdot c_{\text{ми}} \quad (4.30)$$

Результаты расчета сводятся в табл.4.6.

Таблица 4.6
Расчет приземных концентраций вредного вещества под осью факела

x	$x/x_{\text{ми}}$	S_1^u	$c_u, \text{мг/м}^3$	Примечание
100				$U =$ $C_{\text{ми}} =$ $X_{\text{ми}} =$
200				
400				
600				
800				
1000				
1500				
2000				

По данным табл.4.6 строится график концентраций $c_u, \text{мг/м}^3$ на различных расстояниях от источника загрязнения. Затем на графике определяются концентрации со значениями, удобными для чтения, мг/м^3 (0,02; 0,04...0,2; 0,4 и т.д.) и отмечаются соответствующие им значения на оси x до и после $x_{\text{ми}}$. В учебном проектировании допускается принять не менее трех значений концентраций по которым будут строиться *изолинии* подфакельных концентраций.

В соответствии с ОНД-86 приземная концентрация вещества в точке $c_y, \text{мг/м}^3$, не лежащей на оси факела рассчитывается по формуле:

$$c_y = c_u \cdot S_2, \quad (4.31)$$

где c_u – концентрация вредного вещества на оси факела; S_2 – коэффициент, учитывающий поперечное рассеивание вещества, определяемый в зависимости от скорости ветра u (м/с) по значению аргумента t_y :

$$\text{при } u \leq 5 \quad t_y = U \cdot y^2/x^2, \quad (4.32)$$

$$\text{при } u > 5 \quad t_y = 5 \cdot y^2/x^2, \quad (4.33)$$

где x, y – координаты точки, в которой рассчитывается концентрация (y – расстояние, на которое отстоит расчетная точка от оси x (по перпендикуляру к оси x)).

Коэффициент S_2 определяется по формуле:

$$S_2 = 1 / \left(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4 \right)^2, \quad (4.34)$$

Из формулы 4.31 значение коэффициента S_2 будет равно:

$$S_2 = c_y/c_u \quad (4.35)$$

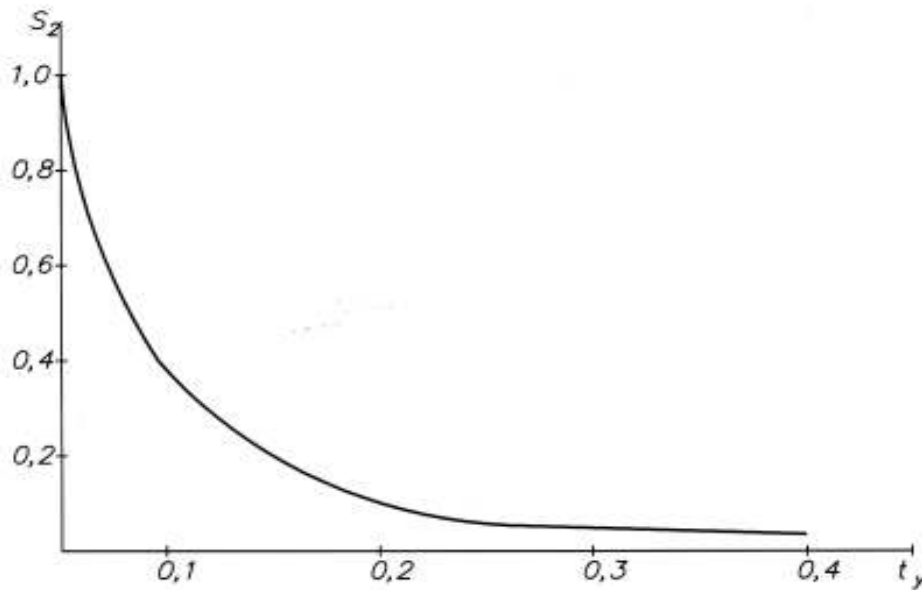


Рис. 4.4 График для определения коэффициента S_2 , учитывающего поперечное рассеивание факела.

Значения координаты x принимаются между точками на оси факела, определенными ранее по графику (не менее 5 точек).

По графику (рис. 4.4) в зависимости от величины S_2 определяется значение аргумента t_y . Зная t_y по формулам (4.32), (4.33) находят значение координаты y .

Найденные величины t_y , S_2 , y проставляются в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Расчет приземных концентраций вне оси факела

x , м	y , м	t_y	S_2	C^u , мг/м ³	C_y , мг/м ³	Примечание

4.5. Построение зоны влияния источника

Зона влияния источника – площадь круга радиусом x_1 , м (или x_2) с источником в центре. Радиус зоны влияния рассчитывается как наибольшее из двух расстояний от источника x_1 и x_2 .

Величина x_1 принимается равной $10 x_m$. Величина x_2 определяется по табл. 4.3 как расстояние от источника, начиная с которого приземная концентрация токсичного вещества не превышает величину $C \leq 0,1 \text{ ПДК}_{\text{мр}}$. Значение x_2 можно найти графически с помощью выполненных ранее графиков по табл. 4.3. Наносится на карту-схему зона влияния с наибольшим радиусом x_1 или x_2 .

5. ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРОВ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ И ЭКОЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ДЛЯ ИСТОЧНИКА (ИСТОЧНИКОВ) ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Санитарно-защитная зона - обязательный элемент любого объекта, который является *источником воздействия* на среду обитания и здоровье человека.

При этом *источниками воздействия* на среду обитания и здоровье человека являются объекты, для которых уровни создаваемого загрязнения за пределами промышленной площадки **превышают 0,1 ПДК и/или ПДУ**.

Территория санитарно-защитной зоны предназначена для:

- обеспечения снижения уровня воздействия до требуемых гигиенических нормативов по всем факторам воздействия за ее пределами;
- создания санитарно-защитного барьера между территорией предприятия (группы предприятий) и территорией жилой застройки;
- организации дополнительных озелененных площадей, обеспечивающих экранирование, ассимиляцию и фильтрацию загрязнителей атмосферного воздуха и повышение комфортности микроклимата.

Предварительно размер санитарно-защитной зоны предприятия, где размещена рассматриваемая промышленная котельная, устанавливается с учетом санитарной классификации в соответствии с [7].

При разработке нормативов ПДВ для **предприятия** в целом

достаточность размеров СЗЗ по санитарной классификации должна быть подтверждена расчетом рассеивания по методике ОНД-86 [5]. В учебном проектировании разрешается принять размер СЗЗ предприятия по санитарной классификации.

Далее границы СЗЗ **предприятия** корректируются по румбам. Для каждого из румбов:

$$L = L_0 \cdot P / P_0, \quad (5.1)$$

где L – расчетный размер СЗЗ по румбу, м; P – повторяемость направлений ветра по румбу, %; P_0 – повторяемость направлений ветров одного румба при круговой розе ветров (если число румбов 8, то $P_0 = 100/8 = 12,5\%$); L_0 – расстояние до границы СЗЗ (при круговой розе ветров), м

Полученные значения L соединяются пунктирной линией. Границы СЗЗ наносятся следующим образом. Если величина $P/P_0 > 1$, то принимаются скорректированные значения. В случаях, когда $P/P_0 < 1$ остается величина L_0 , т.к. она наибольшая.

Корректировка позволяет наглядно определить опасное направление с позиции нового строительства или существующей застройки, т.к. она учитывает продолжительность ветров данного румба.

Применительно к отдельно стоящим теплогенерирующим установкам определены следующие размеры СЗЗ [7].

Тепловые электростанции (ТЭС) эквивалентной электрической мощностью **600 МВт и выше**, использующие в качестве топлива уголь и мазут, относятся к предприятиям первого класса и должны иметь СЗЗ не менее 1000 м. ТЭС, работающие на газовом и газомазутном топливе, относятся к предприятиям второго класса и должны иметь СЗЗ не менее 500 м.

ТЭЦ и районные котельные тепловой мощностью **200 Гкал/ч (232 МВт) и выше**, работающие на угольном и мазутном топливе, относятся ко второму классу с СЗЗ не менее 500 м; работающие на газовом и газомазутном топливе (последнее - как резервное), относятся к

предприятиям третьего класса с СЗЗ не менее 300 м.

В соответствии с [7] при установлении минимальной величины санитарно-защитной зоны от всех типов котельных тепловой мощностью **менее 200 Гкал/час (232 МВт)**, работающих на твердом, жидком и газообразном топливе, необходимо *определение расчетной концентрации* в приземном слое и по вертикали с учетом высоты жилых зданий в зоне максимального загрязнения атмосферного воздуха от котельной, а также акустических расчетов.

В учебном проектировании применительно к *промышленной площадке* следует пользоваться термином **санитарно-защитная зона (СЗЗ)**, а для *производственно-отопительной котельной* как отдельного источника загрязнения - термином **экозащитная зона (ЭЗЗ)**.

В соответствии с [4] под экозащитной зоной понимается территория вокруг объекта (источника загрязнения), вне которой воздействие объекта на окружающую среду (без учета воздействий других объектов) не приведет к превышению экологических и гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха.

Граница ЭЗЗ – это совокупность точек, в которых концентрации вредных веществ $(c + c_{\phi}) = \text{ПДК}$; для веществ, обладающих эффектом **полной** суммации, приведенные безразмерные концентрации $\sum(q + q_{\phi}) = 1$, а эффектом **частичной** суммации - $\sum(q + q_{\phi}) = 1,6$.

Примечание: не обладают эффектом суммации в соответствии с [6, п. 60] 2-х, 3-х и 4-х компонентные смеси, включающие **диоксид азота**, входящие в состав многокомпонентного загрязнения атмосферного воздуха, если удельный вес концентрации диоксида азота, выраженный в долях соответствующих максимальных разовых ПДК, составляет:

- в 2-х компонентной смеси более 80%;
- в 3-х компонентной - более 70%;
- в 4-х компонентной - более 60%.

Таким образом, применительно к выбросам NO_2 и SO_2 обладающих эффектом **частичной суммации** [6] уравнение примет вид:

$$q^{\text{NO}_2} + q^{\text{SO}_2} + q_{\phi}^{\text{NO}_2} + q_{\phi}^{\text{SO}_2} = 1,6 \quad (5.2)$$

6. РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ

Предельно допустимый выброс (ПДВ), т.е. допустимая масса выбрасываемого вещества, определяется для каждого из вредных веществ, выбрасываемых источником.

Значение ПДВ (г/с) от одиночного источника с круглым устьем (для веществ, *не обладающих эффектом суммации*) рассчитывается по формуле:

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{ф}) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}, \text{ г/с} \quad (6.1)$$

где ПДК – максимально разовая предельно допустимая концентрация токсичного вещества, мг/м³; $c_{ф}$ – фоновая концентрация токсичного вещества, мг/м³; H – высота дымовой трубы, м; V_1 – расход продуктов сгорания на выходе из дымовой трубы, м³/с; ΔT – разность температур уходящих газов и окружающего воздуха, °С; A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере; m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода смеси из устья источника; η – безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности.

ПДВ для одиночного источника, выбрасывающего вещества, обладающие суммацией вредного воздействия, определяется *по расчету рассеивания вредных веществ*. Т.е. рассчитывается *масса* вредного вещества, при рассеивании которого в атмосфере приземная концентрация данного вещества (с учетом фоновой концентрации и перспективы развития предприятия) не будет превышать ПДК.

Полученные значения ПДВ сопоставляются с массой загрязняющих веществ M , выбрасываемых источником.

Если $M_i < ПДВ_i$, то данный выброс от источника (по веществу i) считается допустимым (дается разрешение на выброс).

В том случае, когда выброс какого-либо вещества превышает ПДВ, то необходимы природоохранные мероприятия.

Природоохранные мероприятия разрабатываются на срок до 5 лет и в этот период выброс утверждается органами экологического надзора как временно согласованный выброс (ВСВ).

Для определения ПДВ по условиям распределения выбросов в атмосфере анализируются следующие уравнения:

- для веществ, обладающих *эффектом полной суммации* вредного воздействия:

$$q^1 + q^2 + q_{\phi}^1 + q_{\phi}^2 \leq 1 \quad (6.2)$$

- для веществ, обладающих *эффектом частичной суммации* вредного воздействия:

$$q^1 + q^2 + q_{\phi}^1 + q_{\phi}^2 \leq 1,6 \quad (6.3)$$

Например, применительно к выбросам NO₂ и SO₂:

$$q^{\text{NO}_2} + q^{\text{SO}_2} + q_{\phi}^{\text{NO}_2} + q_{\phi}^{\text{SO}_2} \leq 1,6 \quad (6.4)$$

В этом случае допустимый вклад указанных веществ определится:

$$(q^{\text{NO}_2} + q^{\text{SO}_2})_{\text{доп}} \leq 1,6 - (q_{\phi}^{\text{NO}_2} + q_{\phi}^{\text{SO}_2}) \quad (6.5)$$

Если условия формул (6.2) и (6.3) не выполняются, то необходимы природоохранные мероприятия.

Далее анализируется доля каждого из веществ в допустимом вкладе в приземные концентрации и определяется необходимая степень очистки (см. раздел 7). По степени очистки вычисляется допустимая масса вредного вещества (ПДВ).

7. ВЫБОР ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Предварительно определяется требуемая степень очистки по каждому токсичному веществу. Для этого необходимо построить графики распределения безразмерных концентраций на основании данных табл. 4.3 с учетом фоновых концентраций. На графиках наносится линия допустимых суммарных значений фоновой и текущей приведенных концентраций $q_{\text{норм}}$ (1,0; 1,6). По графикам определяются значения Δq (см. рис. 7.1).

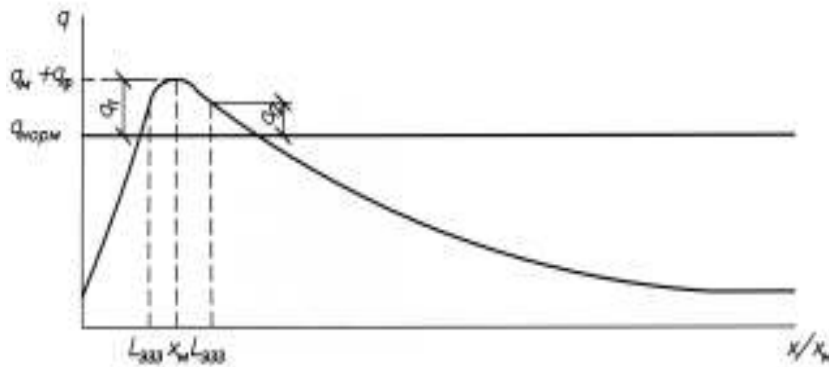


Рис. 7.1 Определение требуемой степени очистки продуктов сгорания

Требуемая степень очистки определяется по формулам:

$$\eta_{\text{оч}} = \frac{(q_m + q_\phi) - q_{\text{норм}}}{(q_m + q_\phi)} \cdot 100 = \frac{\Delta q_1}{(q_m + q_\phi)} \cdot 100 \text{ при условии } L_{\text{эзз}} < x_m \quad (7.1)$$

$$\eta_{\text{оч}} = \frac{q_{\text{эзз}} - q_{\text{норм}}}{q_{\text{эзз}}} \cdot 100 = \frac{\Delta q_2}{q_{L_0}} \cdot 100 \text{ при условии } L_{\text{эзз}} \geq x_m \quad (7.2)$$

где $q_{\text{эзз}}$ - безразмерная концентрация токсичных веществ на границе экозащитной зоны.

Если вещества обладают эффектом суммации, то полученное значение $\eta_{\text{оч}}$ относится к степени очистки каждого из веществ. Анализ методов очистки показывает, что достаточно сложно найти методы, позволяющие осуществить одинаковую степень очистки по двум разным веществам. В этом случае принципиально возможно принять способ очистки по одному из веществ, но с большей степенью нейтрализации данного вещества (без

очистки другого вещества). Таким образом, формулу (6.5) можно представить в следующих вариантах:

$$(q^{\text{NO}_2})_{\text{доп}} \leq 1,6 - q^{\text{SO}_2} - \sum q_{\phi}^{\text{NO}_2+\text{SO}_2} \quad (7.3)$$

или

$$(q^{\text{SO}_2})_{\text{доп}} \leq 1,6 - q^{\text{NO}_2} - \sum q_{\phi}^{\text{NO}_2+\text{SO}_2} \quad (7.4)$$

Существует другой способ определения степени очистки по рассчитанному ранее значению ПДВ:

$$\eta_{\text{оч}} = \frac{M - \text{ПДВ}}{M} \cdot 100 = \frac{\Delta M}{M} \cdot 100 \quad (7.5)$$

Выбор природоохранных мероприятий (в том числе комплексных) проводится путем анализа известных методов очистки [10-14, 16, 19-24 и др.], учитывая степень очистки, полученную по формулам (7.1), (7.2), (7.5).

В том случае, когда для снижения токсичных веществ приняты сухие методы снижения выбросов токсичного вещества (рециркуляция продуктов сгорания, ступенчатое сжигание, адсорбция, катализ и др.), вычисляемую ранее $\eta_{\text{оч}}$ (формула 7.2) можно принять как необходимую степень очистки, т.к. C_m изменяется пропорционально M (формула 4.1). Если же приняты мокрые методы (например, известковая очистка, пенные уловители, конденсационные теплообменники и др.), то снижение приземных концентраций окажется значительно меньшим. Это обусловлено изменением температуры продуктов сгорания в процессе мокрой очистки, а, следовательно, и объема удаляемых газов (см. формулу 4.1). Уточнить эффективность данного метода можно лишь пересчитав приземную концентрацию C_m для новых условий, а затем скорректировать необходимую степень очистки.

Кроме того, в границах предприятия необходимо проверить отсутствие превышения **0,3 ПДК рабочей зоны** (такой норматив устанавливается для воздухозаборных устройств приточной вентиляции).

Следующим этапом является пересчет полученных в разделах 2-6 данных (существующее положение - СП) на перспективу (П).

8. РАСЧЁТ ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ КОТЕЛЬНОЙ НА АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Расчёт проводится согласно РД-19-02-2007 «Методические рекомендации по администрированию платы за негативное воздействие на окружающую среду в части выбросов в атмосферный воздух».

Плата за загрязнение окружающей природной среды в размерах, не превышающих допустимый выброс (т/год), определяется путем умножения соответствующих нормативов платы (в пределах лимита), на массы фактических выбросов по каждому загрязняющему веществу и суммирования полученных произведений:

$$П^л = \Sigma(M_i \cdot C_i^л), \text{ руб} \quad (8.1)$$

где M_i – валовый выброс i -го вещества, т/год; $C_i^л$ - расчетная ставка платы за выброс 1 тонны загрязняющего вещества в пределах лимита, руб/т

$$C_i^л = N_i^л \cdot K_э \cdot K_Г \cdot K_{инд}, \text{ руб/т} \quad (8.2)$$

где $N_i^л$ - норматив платы за выброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов, руб/т; $K_э$ - коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние атмосферного воздуха), принимается по табл. 8.1; $K_Г$ - коэффициент за выбросы вредных веществ в атмосферный воздух городов, принимается равным 1,2; $K_{инд}$ - коэффициент к нормативам платы, установленный законом о федеральном бюджете на соответствующий год.

При сверхлимитном загрязнении плата определяется как сумма платы за загрязнение в пределах лимитного и платы за сверхлимитный выброс:

$$П^{сл} = \Sigma(M_i^{ПДВ} \cdot C_i^л) + \Sigma(C_i^{сл} \cdot (M_i - M_i^{ПДВ})), \text{ руб} \quad (8.3)$$

где $M_i^{ПДВ}$ - валовый выброс i -го вещества в пределах лимита, т/год; $C_i^{сл}$ - расчетная ставка платы за сверхлимитный выброс загрязняющих веществ, руб/т

$$C_i^{сл} = N_i^{сл} \cdot K_э \cdot K_Г \cdot K_{инд}, \text{ руб/т} \quad (8.4)$$

где $N_i^{сл}$ - норматив платы за выброс 1 тонны i -го загрязняющего вещества сверх установленного лимита, руб/т

Таблица 8.1

*Коэффициенты, учитывающие экологические факторы по территориям
экономических районов Российской Федерации*

Экономические районы Российской Федерации	Значение коэффициента k_3
Северный	1,4
Северо-Западный	1,5
Центральный	1,9
Волго-Вятский	1,1
Центрально-Черноземный	1,5
Поволжский	1,9
Северо-Кавказский	1,6
Уральский	2
Западно-Сибирский	1,2
Восточно-Сибирский	1,4
Дальневосточный	1
Калининградская область	1,5

Расчёт сводится в таблицу 8.2.

Таблица 8.2

*Расчёт платы за негативное воздействие котельной установки на
атмосферный воздух*

Показатели	Углерода оксид	Азота диоксид	Сернистый ангидрид	Бенз(а)пирен 3,4
1	2	3	4	5
M_i , т/год				
ПДВ, т/год				
Норматив платы за выброс 1 тонны загрязняющего вещества, руб.	0,6	52	21	2049801
Плата за сверхлимитный выброс загрязняющих веществ, руб.	3	260	105	10249005

продолж. табл. 8.2

1	2
Коэффициент, учитывающий экологические факторы	1,2
Коэффициент, установленный законом о федеральном бюджете	см. значение коэффициента в текущем году
Коэффициент за выбросы вредных веществ в атмосферный воздух городов	1,2
Фактическая плата за выбросы загрязняющих веществ (без выполнения природоохранных мероприятий), руб.	рассчитать по формулам (8.3) – (8.4)
Плата за выбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов, руб	рассчитать по формулам (8.1) – (8.2)

9. ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Графическая часть курсовой работы выполняется на одном листе формата А-1.

Структура чертежа. В левом верхнем углу чертежа приводится среднегодовая роза ветров, а также на летний, зимний периоды года. Это необходимо в связи с различными условиями рассеивания загрязняющих веществ в разные периоды года.

Карта-схема территории размещается в левой половине чертежа, занимая ее большую часть. Она должна включать план промышленной площадки предприятия и окружающие ее территории: существующие жилые кварталы, участки перспективной жилой застройки, промышленную застройку, зоны отдыха, лесные и зеленые массивы, другие территории, а также пункты наблюдений за загрязнением атмосферы.

В правой верхней части чертежа приводится ситуационный план в масштабе значительно меньшем, чем план промплощадки предприятия и окружающие его территории (например, карта-схема территории приведена в масштабе 1:10000, тогда ситуационный план необходимо привести в масштабе 1:50000 или 1:100000).

Ситуационный план включает более обширную территорию, на которую оказывает воздействие данный источник загрязнения. На данном плане наносятся санитарно-защитная зона, зона влияния источника, а также другие линии, которые выходят за пределы карты-схемы. Ниже размещаются схема очистки, таблицы выбросов, условные обозначения.

Порядок оформления чертежа следующий. Сначала наносится ситуационный план с координатной сеткой местности с шагом 2000, 5000, 10000 или 20000 м. В учебных целях рассматриваемую промышленную площадку следует разместить в центре ситуационного плана. Далее оформляется карта-схема территории, на которой наносятся:

- координатная сетка с шагом 200, 500, 1000 или 2000 м в зависимости от масштаба генплана и мощности источника загрязнения;
- промышленная площадка (желательно в центре координатной сетки);
- санитарно-защитная зона (СЗЗ) предприятия по санитарной классификации (если котельная расположена на территории предприятия) согласно [7] и производится корректировка СЗЗ по румбам (см. раздел 5);
- источник (источники) загрязнения (в учебном проектировании - на пересечении линий координатной сетки);
- окружности радиусом x_m , м для газообразных веществ и ТВЧ, что обозначает совокупность точек, в которых устанавливается c_m , мг/м³ при соответствующих направлениях ветра и опасной скорости u_m , м/с (см. Таблица 4.1);
- значения x_{mu} , м по каждому из румбов. При этом полученные точки соединяются по кривой линии, что обозначает совокупность точек, в которых устанавливается c_{mu} , мг/м³ при соответствующих направлениях ветра и скоростях ветра по румбам.

Анализируется полученный расчетом массив концентраций вредных веществ (см. табл. 4.2, 4.3) и на генплане наносятся 3–4 изолинии приведенных концентраций q по каждому из веществ или суммации. Например: $q^{CO} = 0,2; 0,4; 0,6$; $q^{NO_2+SO_2} = 0,6; 0,8; 1,0; 1,2$ и т.д. Расстояния, на которых размещаются рассматриваемые изолинии, определяются путем интерполяции данных таблицы 4.3 или графически.

Указываются значения концентраций на границе СЗЗ (только в жилой застройке и селитебной зоне). Линии, выходящие за пределы карты-схемы, необходимо разместить на ситуационном плане.

Наносится экозащитная зона котельной (ЭЗЗ), рассчитанная по условиям рассеивания токсичных веществ в атмосфере (см. раздел 5).

В нижней левой части чертежа приводятся таблицы «Характеристика источника загрязнения» и «Таблица ингредиентов».

Примерная компоновка чертежа представлена на рис. 8.1.

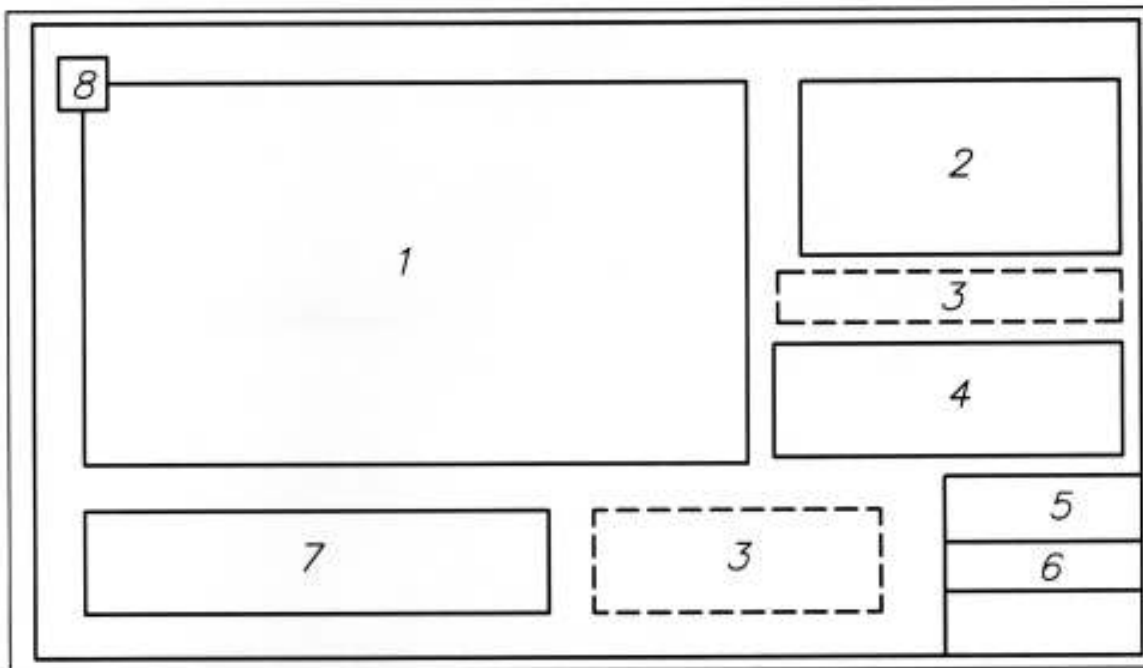


Рис. 8.1 Компоновка чертежа

1 – карта-схема территории; 2 – ситуационный план; 3 – условные обозначения; 4 – схема очистки продуктов сгорания от токсичных веществ; 5 – экспликация к схеме очистки; 6 – характеристика источника загрязнения (таблица); 7 – таблица ингредиентов; 8 – роза ветров (выполняется для зимнего и летнего периодов, а также среднегодовая).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология.
2. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. – М.: 1999. – 43 с.
3. Методическое письмо № 335/33-07 от 17 мая 2000 г. «О проведении расчетов выбросов вредных веществ в атмосферу по Методике определения выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час» с изменениями. – СПб: Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха (НИИ Атмосфера), 2000. – 15 с.
4. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (дополненное и переработанное) – СПб.: Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха (НИИ Атмосфера), 2005. – 138 с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
6. ГН 2.1.6.1338-03 (с доп. и изм. №1–5). Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест
7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. - 2007.
8. ГОСТ 17.2.3.02-78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями, 1978.

9. ГОСТ 17.2.1.04-77. Охрана природы. Атмосфера. Источники и метеорологические факторы загрязнения, промышленные выбросы. Термины и определения.

10. Котлер, В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов / В. Р. Котлер. – М : Энергоатомиздат, 1987. – 144 с. : ил. – (Б-ка теплоэнергетика)

11. Кривоногов, Б. М. Повышение эффективности сжигания газа и охрана окружающей среды / Б. М. Кривоногов. – Л : Недра, 1986. – 280 с. : ил.

12. Лебедев, В. И. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения: Учеб. пособие для вузов / В. И. Лебедев, Б. А. Пермяков, П. А. Хаванов. – М.: Стройиздат, 1992. – 360 с.: ил.

13. Лебедева, Е. А. Охрана воздушного бассейна от вредных технологических и вентиляционных выбросов: учеб. пособие / Е. А. Лебедева. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит. - строит. ун-т. - Нижний Новгород: ННГАСУ, 2009. - 196 с.

14. Рихтер, Л. А. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций: Учебник для вузов / Л. А. Рихтер, Э. П. Волков, В. Н. Покровский; под ред. П. С. Непорожного. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.: ил.

15. Роддатис, К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К. Ф. Роддатис, А. Н. Полтарецкий; под редакцией К.Ф. Роддатиса – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.: ил.

16. Сигал, И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И. Я. Сигал. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.: ил.

17. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) / под ред. С. И. Мочана, А. А. Абрютина, Г. М. Кагана, В. С. Назаренко/ изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб: ВТИ – НПО ЦКТИ, 1998. – 259 с.: ил.

18. Эстеркин Р.И. Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование: Учебное пособие для техникумов. - Л: Энергоатомиздат, 1990. - 280 с.
19. Справочник по пыли - и золоуловливаю/ М.И.Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков, под редакцией А.А. Русанова. 2-е изд. перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 1983. - 312 с.
20. Карягин Н.П. Защита атмосферы от загрязнения. Учебное пособие. Горький, 1984г. - 100 с.
21. Смола В.И., Кельцев Н.В. Защита атмосферы от двуокиси серы.- М: Металлургия, 1976. - 256 с.
22. Юдашкин М.Я. Пылеулавливание и очистка газов в черной металлургии. - М: Металлургия, 1984. - 384 с.
23. Справочник по пылеулавливающему и газоочистному оборудованию. ч. 1, ч. 2., М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. - 84 с.
24. Бенит Ф.Г., Мальгин А.Д. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов. - М.: Стройиздат, 1979 - 351 с.

Приложение А

Характеристика топок котлов малой мощности

Вид топок и котлов	Топливо	q ₃ , %	q ₄ , %	Примечание
С неподвижной решеткой и ручным забросом топлива	Бурые угли	2,0	8,0	
	Каменные угли	2,0	7,0	
	Антрациты АМ и АС	1,0	10,0	
Топки с цепной решеткой	Донецкий антрацит	0,5	13,5/10	Большие значения q ₄ - при отсутствии средств уменьшения уноса; меньшие значения q ₄ - при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25, 35 т/ч
Шахтно-цепные топки	Торф кусковой	1,0	2,0	
Топки с пневмомеханическим забрасывателем и цепной решеткой прямого хода	Угли типа кузнецких	0,5-1,0	5,5/3	
	Угли типа донецкого	0,5-1,0	6/3,5	
	Бурые угли	0,5-1,0	5,5/4	
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Каменные угли	0,5-1,0	5,5/3	
	Бурые угли	0,5-1,0	6,5/4,5	
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Донецкий антрацит	0,5-1,0	13,5/10	
	Бурые угли типа подмосковных, бородинских	0,5-1,0	9/7,5	
	Угли типа кузнецких	0,5-1,0	6/3	
		0,5-1,0	5,5/3	
Шахтные топки с наклонной решеткой	Дрова, дробленые отходы, опилки, торф кусковой	2	2	
Топки скоростного горения	Дрова, щепа, опилки	1	4/2	
Слоевые топки котлов паропроизводительностью более 2 т/ч	Эстонские сланцы	3	3	
Камерные топки с твердым шлакоудалением	Каменные угли	0,5	5/3	
	Бурые угли	0,5	3/1,5	
	Фрезерный торф	0,5	3/1,5	
Камерные топки	Мазут	0,2	0,1	
	Газ (природный попутный)	0,2	0	
	Доменный газ	1,0	0	

Приложение Б

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест и воздухе рабочей зоны

Вредное вещество	Формула	Код	ПДК, мг/м ³			Класс опасности
			максимально разовая ПДК _{м.р.}	среднесуточная ПДК _{с.с.}	рабочей зоны ПДК _{р.з.}	
Бенз(а)пирен	C ₂₀ H ₁₂	703	-	0,1мкг/100м ³	0,00015	1
Ванадия пентаксид	V ₂ O ₅	110	-	0,002	0,1	1
Азота диоксид	NO ₂	301	0,2	0,04	5	3
Азота оксид	NO	304	0,4	0,06	-	3
Ангидрид сернистый	SO ₂	330	0,5	0,05	10	3
Взвешенные вещества	-	2902	0,5	0,15	1-10	3
Сажа по углероду	-	328	0,15	0,05	4	3
Углерода оксид	-	337	5	3	20	4

Примечание:

- 1) ПДК вредных веществ даны в соответствии с [6, изм. 1-5].
- 2) Применительно к веществам, для которых нормированы только среднесуточные предельно допустимые концентрации ПДК_{с.с.}, в расчетах следует принять величину в 10 раз большую (ПДК_{м.р.} = 10 ПДК_{с.с.}).
- 3) При сжигании угля выбросы угольной золы следует классифицировать по содержанию в ней двуокиси кремния (за исключением случаев, когда для конкретного вида золы установлены значения ПДК или ОБУВ). Обычно содержание двуокиси кремния в угольной золе составляет 30–60%, что соответствует пыли неорганической с ПДК_{м.р.}=0,3 мг/м³ (код 2908). Аналогично классифицируется и зола, образующаяся при сжигании торфа (содержание SiO₂ составляет 30–60%).
При сжигании дров выбросы золы (до разработки Госсанэпиднадзором России соответствующих допустимых уровней содержания этого вещества в атмосферном воздухе) классифицируются, как взвешенные вещества (ПДК_{м.р.}=0,5 мг/м³, код 2902).
Так называемые "коксовые остатки", образующиеся при сжигании твердого топлива (до разработки Госсанэпиднадзором России соответствующих допустимых уровней содержания этого вещества в атмосферном воздухе) классифицируются, как сажа (ПДК_{м.р.}=0,15 мг/м³) [3, п.3.2 с изм. (письмо 2000 г.)].

При расчете выбросов от топливосжигающих установок [4, прил. 9] (котлоагрегатов, кузнечных горнов, нагревательных печей и т.п.) твердые компоненты выбросов при использовании твердых видов топлива следует классифицировать следующим образом:

1. Летучая зола как:

- зола углей (код 3714, ОБУВ=0,3 мг/м³) при использовании углей Подмосковского, Печорского, Кузнецкого, Экибастузского, марки Б1 Бабаевского и Тюльганского месторождений (с содержанием SiO₂ свыше 20-70%);

- угольная зола теплоэлектростанций (с содержанием окиси кальция 35-40%, дисперсностью до 3 мкм и ниже не менее 97%) (код 2926, ПДК_{м.р.}=0,05 мг/м³) при использовании углей Канско-Ачинского бассейна: Назаровских, Березовских, Барандатских, Итатских;
 - пыль неорганическая: 70-20% двуокиси кремния (код 2908, ПДК_{м.р.}=0,3 мг/м³) при использовании углей прочих месторождений, кокса, торфа;
 - взвешенные вещества (код 2902, ПДК_{м.р.}=0,5 мг/м³) при использовании дров;
 - зола сланцевая (код 2903, ПДК_{м.р.}=0,3 мг/м³) при использовании сланцев.
2. Частицы несгоревшего топлива (коксовые остатки) как углерод черный (сажа) (код 328, ПДК_{м.р.}=0,15 мг/м³).

Приложения В

Коэффициенты, учитывающие влияние различных факторов на концентрацию бенз(а)пирена в продуктах сгорания



Рисунок В1. Зависимость K_d от относительной нагрузки котла



Рисунок В2. Зависимость K_p от степени рециркуляции

1 - в дутьевой воздух или кольцевой канал вокруг горелок
2 - в щели под горелками

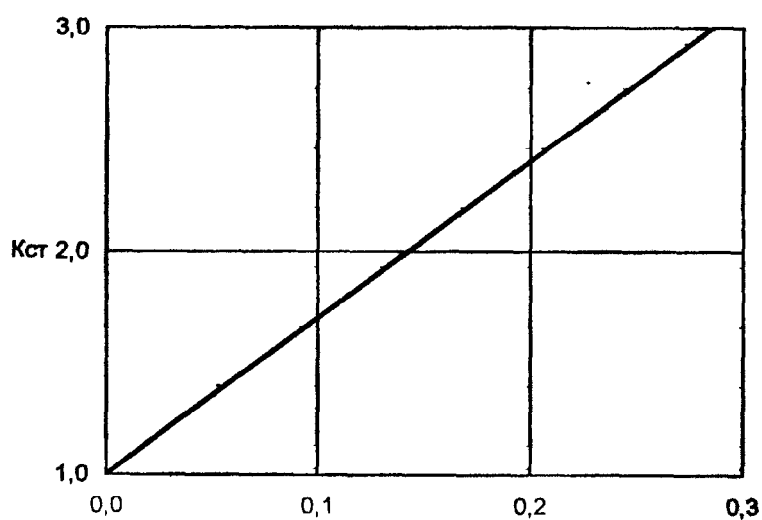


Рисунок В3. Зависимость $K_{ст}$ от доли воздуха, подаваемого помимо горелок

Евгения Андреевна Лебедева
Алексей Владимирович Гордеев
Екатерина Владимировна Лощилова

Экологическая оценка котельной установки и разработка нормативов предельно допустимых выбросов

Методические указания к курсовой работе, расчетно-графической работе и практическим занятиям для студентов, обучающихся по направлениям 270800.62 Строительство (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»), 140100.62 Теплоэнергетика и теплотехника (профиль «Промышленная теплоэнергетика»), 270800.68 Строительство (программа «Теплогазоснабжение населенных мест и предприятий»), 140100.68 Теплоэнергетика и теплотехника (программа «Тепломассообменные процессы и установки»)

Подписано в печать _____ Формат 60×90 1/16. Бумага газетная.
Печать трафаретная. Уч.- изд. л. Усл. печ. л.
Тираж 300 экз. Заказ № _____

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», 603600,
Н.Новгород, ул. Ильинская, 65

Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, ул. Ильинская, 65