

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

### **Экология энергетики**

Методические указания к практическим занятиям  
для студентов специальности

1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций»

Витебск  
2020

УДК 502.17 : 620.9

Составители:

А. В. Гречаников, И. А. Тимонов

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 2 от 28.02.2020.

**Экология энергетики** : методические указания к практическим занятиям / сост. А. В. Гречаников, И. А. Тимонов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 60 с.

В методических указаниях изложены задания и методика выполнения практических занятий по дисциплине «Экология энергетики» для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций».

УДК 502.17 : 620.9

© УО «ВГТУ», 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1 .....	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2 .....	11
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3 .....	19
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4 .....	24
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5 .....	27
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6 .....	34
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7 .....	37
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8 .....	40
ЛИТЕРАТУРА .....	47
Приложение А .....	48
Приложение Б .....	55
Приложение В .....	56
Приложение Г .....	57
Приложение Д .....	58

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

### РАСЧЕТ ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ЗОНЕ ВЫБРОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

В современных условиях не все виды производств работают по безотходной технологии, и не для всех выбросов загрязняющих веществ разработаны рентабельные способы очистки. Поэтому для уменьшения воздействия вредного вещества на население выбросы отводят на большую высоту. При этом загрязняющие вещества рассеиваются и их концентрации в приземном слое снижаются до предельно допустимых. На процесс рассеивания выбросов существенное влияние оказывают: состояние атмосферы, расположение предприятий и источников выбросов, характер выбросов, характер местности, физические и химические свойства выбрасываемых веществ и т. д. Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, вертикальное – распределением температур в вертикальном направлении. Схемы распространения факела выброса изображены на рисунке 1.

Для решения практических задач охраны окружающей среды нередко требуется знать концентрации загрязняющих веществ, создаваемые источником выброса в заданной точке местности. Расчет рассеивания и определение приземных концентраций производится в соответствии с методикой расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий «ОНД-86».

Основой для выполнения расчета являются следующие положения:

- на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере влияют метеорологические параметры: скорость и направление ветра, температурная стратификация атмосферы, температура атмосферного воздуха;
- максимальная приземная концентрация от данного источника загрязнения, возникающая при неблагоприятных метеорологических условиях (при опасных скорости и направлении ветра, высокой температуре атмосферы и ее безветренном состоянии), не должна превышать ПДК за границей санитарно-защитной зоны;
- приземная концентрация загрязняющих веществ зависит от параметров источника выброса и состава пылегазовоздушной смеси.

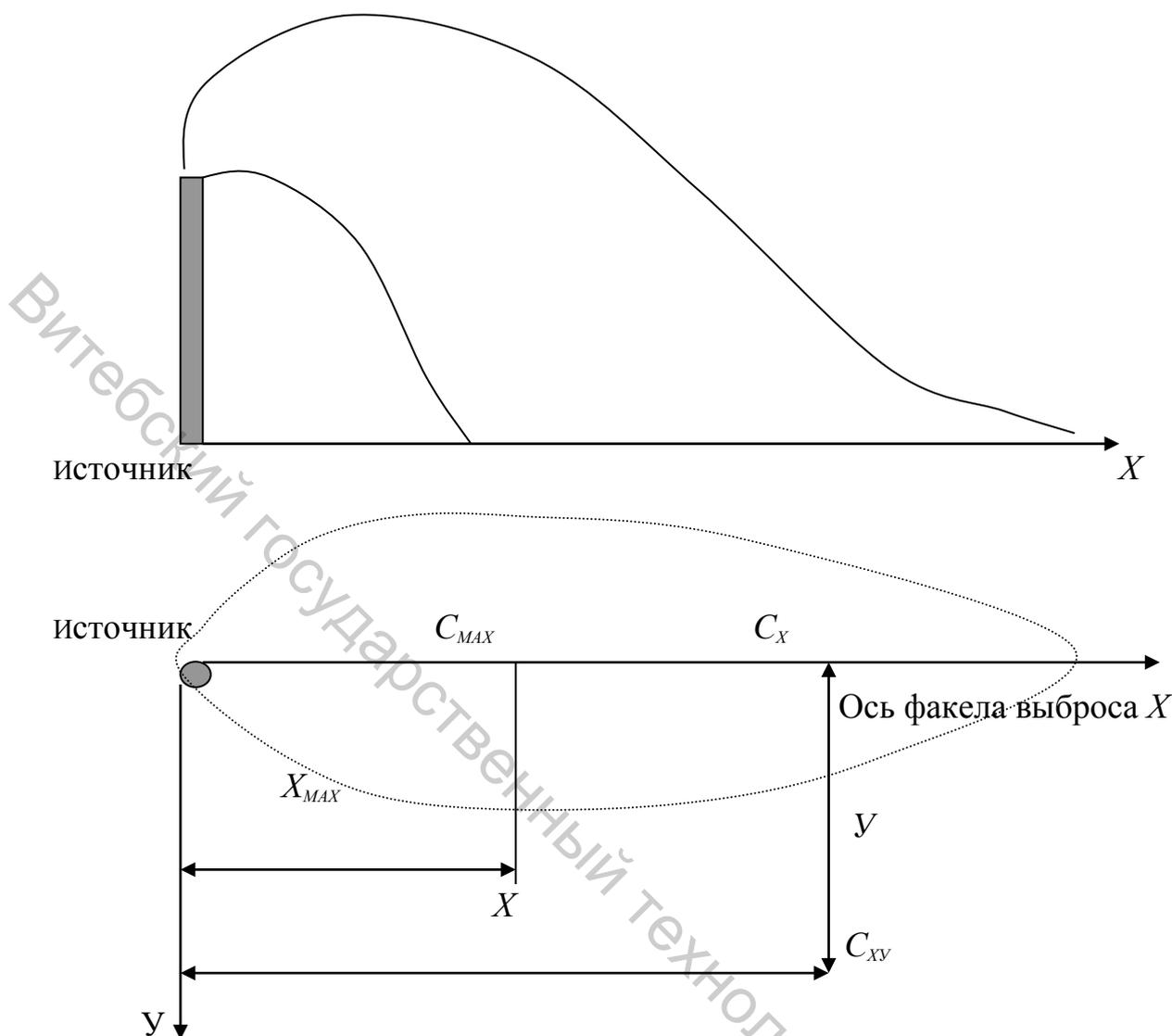


Рисунок 1.1 – Распространение факела выброса от источника загрязнения атмосферы

Максимальная приземная концентрация загрязняющих веществ в атмосфере от одиночного точечного источника выброса круглого сечения, выбрасывающего нагретую пылегазовоздушную смесь, рассчитывается по формуле

$$C_{\max} = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (1.1)$$

где  $C_{\max}$  – максимальная приземная концентрация загрязняющих веществ, мг/м<sup>3</sup>;  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (условий вертикального и горизонтального рассеивания примеси в атмосфере). Для условий Республики Беларусь значение коэффициента  $A$ , соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принима-

ется равным 160;  $H$  – высота источника выброса от земли, м;  $M$  – масса загрязняющего вещества, выбрасываемого из источника в единицу времени, мг/с;  $F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в атмосфере и зависящий от состояния загрязняющих веществ и эффективности пылеулавливания. Для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т. п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю)  $F=1$ ; для мелкодисперсных аэрозолей (кроме указанных выше) при коэффициенте очистки не менее 90 %  $F=2,0$ ; от 75 до 90 %  $F=2,5$ ; менее 75 %  $F=3$ ;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние аэродинамических нарушений. Для одиночного источника при отсутствии рядом стоящих препятствий (высоких зданий, сооружений)  $\eta = 1$ ;  $V_1$  – объемный расход выбрасываемой смеси, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta T$  – перепад температур, °С.

Объемный расход выбрасываемой пылегазовоздушной смеси определяется по формуле

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0, \quad (1.2)$$

где  $\omega_0$  – скорость выхода газовойоздушной смеси из источника выброса (трубы), м/с;  $D$  – диаметр источника выброса, м.

Перепад температур  $\Delta T$  определяется по формуле

$$\Delta T = T_2 - T_6, \quad (1.3)$$

где  $T_2$  – температура газовойоздушной смеси, °С;  $T_6$  – температура атмосферного воздуха, принимаемая для района расположения предприятия в 13 часов самого жаркого месяца года, °С.

Условия метеорологического рассеяния газовойоздушной смеси, выбрасываемой предприятием, в атмосфере в значительной степени зависят от того, являются ли выбросы «холодными» или «нагретыми». Критерием нагретости является вспомогательный фактор « $f$ », определяемый по формуле

$$f = \frac{10^3 \omega_0^2 D}{H^2 \Delta T}. \quad (1.4)$$

При  $f < 100$  – выбросы считаются «нагретыми», а при  $f \geq 100$  – выбросы считаются «холодными».

Безразмерные коэффициенты  $m$  и  $n$  учитывают условия выброса пылевоздушной смеси из устья источника.

Коэффициент  $m$  зависит от параметра  $f$ :

– при  $f < 100$  параметр  $m$  определяется по формуле

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}; \quad (1.5)$$

– при  $f \geq 100$  параметр  $m$  определяется по формуле

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}. \quad (1.6)$$

Коэффициент  $n$ , зависит от вспомогательного параметра  $v_m$ , который определяется по формуле

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}, \quad (1.7)$$

$v_m$	Коэффициент $n$
$v_m < 0,5$	$n = 4,4 \cdot v_m$
$0,5 \leq v_m < 2$	$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13$
$v_m \geq 2$	$n = 1$

Таким образом определены промежуточные значения всех необходимых параметров для расчета максимальной приземной концентрации загрязняющего вещества в атмосфере от одиночного точечного источника выброса по формуле 1.1.

Опасность загрязнения атмосферы оценивается показателем  $j$ , определяемым по формуле

$$j = \frac{C_{\max}}{ПДК_{M.P.}}. \quad (1.8)$$

Если  $j > 1$ , то загрязнение опасно и необходимо рассчитывать опасность загрязнения в точке с заданными координатами  $X$  и  $Y$ .

В этом случае расчет ведется следующим образом.

Расстояние от источника выброса до точки с максимальной приземной концентрацией:

$$X_{\max} = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (1.9)$$

где  $H$  – высота источника выброса, м.

Параметр  $d$  определяется следующим образом:

$v_m$	$d$	
	при $f \leq 100$	при $f > 100$ или $\Delta T \approx 0$
$v_m \leq 0,5$	$d = 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$	5,7
$0,5 < v_m \leq 2$	$d = 4,95 \cdot v_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$	$11,4 \cdot v_m$
$v_m > 2$	$d = 7 \cdot \sqrt{v_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f})$	$16 \cdot \sqrt{v_m}$

Величина опасной скорости ветра  $v_{max}$ , при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредного вещества  $C_{max}$ , также зависит от параметра  $v_m$ :

$v_m$	$v_{max}$ , м/с
$v_m \leq 0,5$	$v_{max} = 0,5$
$0,5 < v_m \leq 2$	$v_{max} = v_m$
$v_m > 2$	$v_{max} = v_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f})$

Приземная концентрация ( $C_{xy}$ ) в точке с координатами  $X$  и  $Y$  определяется по формуле

$$C_{xy} = C_{max} \cdot S_1 \cdot S_2, \quad (1.10)$$

где  $S_1$  – безразмерная величина, характеризующая изменение приземной концентрации по оси факела в зависимости от соотношения  $X/X_{max}$  и коэффициента  $F$  определяется по одной из приведенных ниже формул:

– при  $X/X_{max} \leq 1$

$$S_1 = 3 \cdot \left(\frac{X}{X_{max}}\right)^4 - 8 \cdot \left(\frac{X}{X_{max}}\right)^3 + 6 \cdot \left(\frac{X}{X_{max}}\right)^2; \quad (1.11)$$

– при  $1 < X/X_{max} \leq 8$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot \left(\frac{X}{X_{max}}\right)^2 + 1}; \quad (1.12)$$

– при  $1 < \frac{X}{X_{\max}} \leq 8$  и  $F \leq 1,5$

$$S_1 = \frac{\frac{X}{X_{\max}}}{3,58 \cdot \left(\frac{X}{X_{\max}}\right)^2 - 35,2 \cdot \left(\frac{X}{X_{\max}}\right) + 120}; \quad (1.13)$$

– при  $\frac{X}{X_{\max}} > 8$  и  $F > 1,5$

$$S_1 = \frac{1}{0,1 \cdot \left(\frac{X}{X_{\max}}\right)^2 + 2,47 \cdot \left(\frac{X}{X_{\max}}\right) - 17,8}; \quad (1.14)$$

$S_2$  – безразмерная величина, зависящая от параметра  $t_y$ . Значение параметра  $t_y$  определяется в зависимости от опасной для данного источника скорости ветра  $v_{\max}$ :

$$\text{– при } v_{\max} \leq 5 \text{ м/с параметр } t_y = \frac{v_{\max} \cdot Y^2}{X^2}; \quad (1.15)$$

$$\text{– при } v_{\max} > 5 \text{ м/с параметр } t_y = \frac{5 \cdot Y^2}{X^2}. \quad (1.16)$$

Безразмерная величина  $S_2$  определяется по формуле

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5 \cdot t_y + 12,8 \cdot t_y^2 + 17 \cdot t_y^3 + 45,1 \cdot t_y^4)^2}. \quad (1.17)$$

**ЗАДАЧА.** Оценить достаточность предусмотренных мероприятий для соблюдения санитарных норм в местах воздухозабора с координатами  $X$  и  $Y$  и опасность загрязнения атмосферы выбросами от источника (котельной), расположенного на территории РБ.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры выброса газовой смеси

Вар. №	Наименование веществ	H, м	D, м	$\omega_0$ , м/с	$T_{Г,}$ °C	$T_{В,}$ °C	M, мг/с	X, м	Y, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Зола	18	0,7	16	130	31	25,0	900	280
2	SO <sub>2</sub>	15	0,8	21	130	25	16,0	950	300
3	NO <sub>x</sub>	23	0,9	16	230	27	21,0	600	180
4	NO <sub>x</sub>	28	1,0	12	160	29	6,0	650	200
5	Зола	20	1,2	10	135	29	42,0	750	240
6	NO <sub>x</sub>	23	1,3	11	150	26	16,0	950	300
7	NO <sub>x</sub>	19	1.0	14	165	28	7,0	600	180
8	SO <sub>2</sub>	18	0,7	19	115	27	21,0	650	200
9	NO <sub>x</sub>	24	1,8	13	210	28	12,0	850	210
10	NO <sub>x</sub>	19	0,8	18	160	29	10,0	900	280
11	NO <sub>x</sub>	34	1,4	11	183	27	14,0	950	300
12	NO <sub>x</sub>	30	1,9	9	170	28	12,0	700	230
13	Зола	19	0,9	18	204	33	25,0	800	180
14	NO <sub>x</sub>	20	1,0	14	170	32	7,0	620	200
15	SO <sub>2</sub>	19	0,7	19	117	28	21,0	700	250

По итогам расчета делаются выводы об уровне загрязнения и достаточности мероприятий по защите атмосферы от загрязнений. ПДК<sub>С.С.</sub> и ПДК<sub>М.Р.</sub> загрязняющих веществ представлены в таблице 1.2. Если  $C_{xy} \leq ПДК_{С.С.}$ , то предусмотренных мероприятий для соблюдения санитарных норм в местах воздухозабора достаточно. Если  $C_{xy} > ПДК_{С.С.}$ , то следует предложить дополнительные мероприятия по защите атмосферы от загрязнения.

Таблица 1.2 – Допустимые значения концентраций

Наименование вещества	ПДК <sub>М.Р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>С.С.</sub> , мг/м <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	0,5	0,05
Зола (пыль)	0,5	0,15
NO <sub>x</sub>	0,085	0,085

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ТРУБЫ ТЭЦ

Дымовые трубы на ТЭС в настоящее время используются преимущественно для рассеивания в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, содержащихся в отводимых газах, до приемлемого уровня концентрации по санитарно-гигиеническим условиям. На котельных, особенно с водогрейными котлами, дымовые трубы выполняют роль газоотводящих устройств за счет самотяги.

Основным требованием, предъявляемым к дымовым трубам, является высокая надежность их эксплуатации. Труба в течение всего срока эксплуатации (30–50 лет) должна обеспечить ее работу без проведения ремонта. Однако опыт эксплуатации ряда труб показал, что это условие не всегда выдерживается. В зависимости от условий эксплуатации уже через 5–15 лет может потребоваться ремонт железобетонной дымовой трубы в основном из-за коррозии газоотводящих стволов.

Повреждение и разрушение конструкций дымовых труб происходит в основном в результате:

- стихийного бедствия или аварии (землетрясения, бури, ударов молнии, взрыва газовой смеси при неполном сгорании топлива – «хлопка», возгорания золовых отложений и др.);
- неблагоприятного длительного воздействия окружающей и технологической сред.

Кирпичные и армокирпичные трубы при соблюдении требований эксплуатации являются наиболее долговечными. Срок их службы может достигать 70–100 лет. Кирпичные трубы используются для отвода дымовых газов различной степени агрессивности в широком диапазоне температур.

Основное достоинство кирпичных труб в стадии эксплуатации – сравнительная простота их ремонта, не требующая специальных приспособлений и строительных механизмов. Основные недостатки – высокая трудоемкость возведения, ограниченность высоты (не более 120 м), необходимость регулярной подтяжки стяжных колец.

Железобетонные дымовые трубы получили наибольшее применение и используются для удаления слабо-, средне- и сильноагрессивных газов. При правильной эксплуатации срок службы железобетонных дымовых труб – не менее 50 лет.

Повреждения кирпичной футеровки и конструкций металлической гарнитуры железобетонных дымовых труб аналогичны повреждениям в кирпичных трубах. Характер повреждений несущих и газоотводящих стволов дымовых труб зависит от типа конструктивного решения трубы.

Размеры дымовых труб унифицированы. Шаг по высоте принят 30 м, при этом стандартизованы следующие высоты железобетонных конических дымо-

вых труб: 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420 и 450 м. Условные диаметры устья рекомендуется при этом принимать следующие:  $D_0^{CT} = 6,0; 7,2; 8,4; 9,6; 10,8; 12,0; 13,8$  м.

Металлические дымовые трубы являются наименее долговечными. Срок их службы в зависимости от условий эксплуатации может составлять 20–30 лет.

Наиболее уязвимыми конструкциями металлических труб являются кожух, трубы, опорные кольца под футеровку и растяжки вследствие коррозии металла, усталостного разрушения сварных швов и прилегающего к ним металла.

Повреждения футеровки и вспомогательных металлоконструкций металлических дымовых труб аналогичны повреждениям в кирпичных трубах.

Основные достоинства металлических дымовых труб – возможность возводить высотой до 200 м, малая масса, сравнительно низкая трудоемкость возведения, малые размеры фундаментов, что позволяет размещать их на площадках ограниченных размеров.

Основные недостатки металлических дымовых труб – относительно малый срок их службы, необходимость тщательного ухода в процессе эксплуатации, сложность ремонта кожуха и замены растяжек.

Типоразмеры наиболее распространенных железобетонных дымовых труб приведены в таблице 2.1. Унифицированный ряд некоторых типоразмеров кирпичных труб приведен в таблице 2.2. Унифицированный ряд некоторых типоразмеров металлических труб приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.1 – Типоразмеры железобетонных труб по типовым проектам

Диаметр трубы, м	Высота трубы, м			
	120	150	180	240
4,2	+			
4,8	+			
6,0	+	+	+	
6,5				+
7,2		+	+	
8,0				+
8,4	+		+	
9,6			+	+

Таблица 2.2 – Типоразмеры кирпичных дымовых труб

Высота труб, м	Диаметр на выходе, $d_0$ , м														Исполнение
	0,75	0,90	1,05	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	6,0	7,2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	+	+	+	+											Цилиндрические или конические
25		+	+	+	+										
30			+	+	+	+									
35					+	+	+								
40				+	+	+	+	+	+						

Окончание таблицы 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
45				+	+	+	+	+	+						Конические
50					+	+	+	+	+						
60					+	+	+	+	+						
70								+	+	+	+				
80									+	+	+	+			
90									+	+	+	+			
100									+	+	+	+	+	+	
120									+	+	+	+	+	+	

Таблица 2.3 – Типоразмеры металлических дымовых труб

Высота труб, м	Диаметр на выходе, d <sub>0</sub> , м					Растяжка	
	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0	Количество; число ярусов	Радиус трубы, м
21,4	+	+				3; 1	1,0
21,6			+			3; 1	1,0
23,3				+	+	3; 1	1,0
31,8	+	+				6; 2	1,6
32,0			+			6; 2	1,6
33,8				+	+	3; 1	1,6
44,2				+	+	6; 2	2,2

**ЗАДАЧА.** Рассчитать высоту трубы ТЭЦ высокого давления.

Исходные данные, принятые условия и допущения. Варианты заданий представлены в таблице 2.4

1. Состав ТЭЦ:

– энергетические котлы: количество  $n^{ЭК}$ ; производительность  $N^{ЭК}$ ;

– водогрейные котлы: количество  $n^{БК}$ ; производительность  $N^{БК}$ .

2. Топливо – уголь: теплота сгорания  $Q_H^P$ ; зольность  $A^r$ ; содержание серы  $S_{o-k}^r$  (приложение А).

3. Золоудаление – сухое.

4. Барометрическое давление в месте расположения ТЭЦ  $P_{\text{бар}} = 730$  мм рт.ст.

5. Объем уходящих газов энергетического котла при барометрическом давлении  $P_{\text{бар}}^{y.g.} = 760$  мм рт.ст.:  $V_{y.g.}^{ЭК}$ , тыс. м<sup>3</sup>/ч; температура  $t_{y.g.}^{ЭК}$ , °С.

6. Полный расход топлива энергетическим котлом  $B^{ЭК}$ , т/ч.

7. Объем уходящих газов водогрейного котла при барометрическом давлении  $P_{\text{бар}}^{y.g.} = 760$  мм рт.ст.:  $V_{y.g.}^{БК}$ , м<sup>3</sup>/ч; температура  $t_{y.g.}^{БК}$ , °С.

8. Полный расход топлива энергетическим котлом  $B^{БК}$ , т/ч.

9. Степень очистки газов в электрофильтре  $\eta_{\text{эф}}$ .

10. Принятая средняя температура газов в трубе  $t''_{\text{тр}} = 150$  °С.

11. Скорость выхода газов из трубы  $\omega_0$ , м/с.

12. Доля SO<sub>2</sub>, поглощаемая золой в газоходах котла  $\eta'_{so_2}$  (приложение Г)

13.  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (условий вертикального и горизонтального рассеивания примеси в атмосфере). Для условий Республики Беларусь значение коэффициента  $A$ , соответствующее неблагоприятным метеорологическим условиям, при которых концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе максимальна, принимается равным 160.

14.  $F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в атмосфере и зависящий от состояния загрязняющих веществ и эффективности пылеулавливания. Для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю)  $F=1$ .

15.  $\eta$  – коэффициент, учитывающий влияние аэродинамических нарушений. Для одиночного источника при отсутствии рядом стоящих препятствий (высоких зданий, сооружений)  $\eta = 1$ ;

16.  $m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса,  $m = 1$ ,  $n = 1$ .

17.  $t_B$  – температура атмосферного воздуха, принимаемая для района расположения предприятия в 13 часов самого жаркого месяца года,  $t_B = 20$  °С (варианты 1–5);  $t_B = 25$  °С (варианты 6–10);  $t_B = 30$  °С (варианты 11–15).

18.  $C_\phi$  – фоновая концентрация,  $C_\phi = 0,5$  мг/м<sup>3</sup>.

Высота дымовой трубы (общей для энергетических и водогрейных котлов) и диаметр ее входного сечения рассчитываются с учетом рассеивания в воздушном пространстве выбросов золы и  $SO_2+NO_2$ .

Использование рециркуляции, двухступенчатого сжигания, азотоочистки и других природоохранных мероприятий – отсутствует.

Суммарный объем газов, выбрасываемых энергетическими котлами определяется по формуле

$$V_{\Sigma}^{\text{ЭК}} = n^{\text{ЭК}} \cdot \frac{V_{\text{У.Г.}}^{\text{ЭК}}}{3600} \cdot \frac{P_{\text{БАР}}^{\text{У.Г.}}}{P_{\text{БАР}}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.1)$$

Суммарный объем газов, выбрасываемых водогрейными котлами определяется по формуле

$$V_{\Sigma}^{\text{БК}} = n^{\text{БК}} \cdot \frac{V_{\text{У.Г.}}^{\text{БК}}}{3600} \cdot \frac{P_{\text{БАР}}^{\text{У.Г.}}}{P_{\text{БАР}}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.2)$$

Средняя температура газов, поступающих в дымовую трубу

$$t'_{\text{ТР}} = \frac{V_{\Sigma}^{\text{ЭК}} \cdot t_{\text{У.Г.}}^{\text{ЭК}} + V_{\Sigma}^{\text{БК}} \cdot t_{\text{У.Г.}}^{\text{БК}}}{V_{\Sigma}^{\text{ЭК}} + V_{\Sigma}^{\text{БК}}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.3)$$

Объем газов, выходящих из дымовой трубы при принятой средней температуре газов, поступающих в дымовую трубу

$$V_{TP}^{БЫХ} = (V_{\Sigma}^{ЭК} + V_{\Sigma}^{БК}) \cdot \frac{T_{TP}''}{T_{TP}'}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.4)$$

где  $T_{TP}''$  и  $T_{TP}'$  – принятая и расчётная средняя температура газов, поступающих в дымовую трубу, К.

Диаметр выходного сечения дымовой трубы

$$D_{TP}^{БЫХ} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{TP}^{БЫХ}}{\pi \cdot \omega_0}}, \text{ м}. \quad (2.5)$$

Расчётный диаметр округляем до стандартных значений.

Суммарный выброс золы и твердых частиц энергетическими котлами

$$M_3^{ЭК} = 0,01 \cdot B^{ЭК} \left( \alpha_{УП} \cdot A^r + q_4 \cdot \frac{Q_H^P}{32680} \right) \cdot (1 - \eta_{ЭФ}), \text{ г/с}, \quad (2.6)$$

где  $B^{ЭК}$  – расход топлива энергетических котлов;  $\alpha_{УП}$ ,  $q_4$  – коэффициенты для различных видов топлива (приложение В).

Суммарный выброс золы и твердых частиц водогрейными котлами  $M_3^{БК}$  определяется аналогично с учетом, что  $B^{БК}$  – расход топлива водогрейных котлов.

Суммарный выброс золы и твердых частиц из дымовой трубы

$$\Sigma M_3 = M_3^{ЭК} + M_3^{БК}, \text{ г/с}. \quad (2.7)$$

Суммарный выброс  $\text{SO}_2$  энергетическими котлами

$$M_{\text{SO}_2}^{ЭК} = 0,02 \cdot B^{ЭК} \cdot S_{o-k}^r \cdot (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{SO}_2}), \text{ г/с}, \quad (2.8)$$

где  $B^{ЭК}$  – расход топлива энергетических котлов;  $\eta'_{\text{SO}_2}$  – доля  $\text{SO}_2$ , поглощаемая золой в газоходах котла;  $\eta''_{\text{SO}_2} = 0$ , сухой золоуловитель, сероочистка отсутствует.

Суммарный выброс  $\text{SO}_2$  водогрейными котлами  $M_{\text{SO}_2}^{БК}$  определяется аналогично с учетом, что  $B^{БК}$  – расход топлива водогрейных котлов.

Суммарный выброс SO<sub>2</sub> из дымовой трубы

$$\Sigma M_{SO_2} = M_{SO_2}^{ЭК} + M_{SO_2}^{БК}, \text{ г/с.} \quad (2.9)$$

Суммарный выброс NO<sub>2</sub> энергетическими котлами

$$M_{NO_x} = 10^{-3} \cdot B^{ЭК} \cdot K_{NO_x} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \varepsilon_1 \cdot r) \times \\ \times \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_1 \cdot \left(1 - \eta_{O_3} \cdot \frac{\eta_{O_4}}{\eta_K}\right), \text{ г/с.} \quad (2.10)$$

Учитывая допущения, что отсутствуют сведения о рециркуляции, двух-ступенчатого сжигания, азотоочистки и других природоохранных мероприятий суммарный выброс NO<sub>2</sub> энергетическими котлами определяется

$$M_{NO_x} = 10^{-3} \cdot B^{ЭК} \cdot K_{NO_x} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), \text{ г/с} \quad (2.11)$$

Удельный выброс азота оксидов  $K_{NO_x}$  рассчитывается по формуле:

– для энергетических котлов

$$K_{NO_x}^{ЭК} = \frac{12 \cdot N^{ЭК}}{200 + N^{ЭК}} \quad (2.12)$$

– для водогрейных котлов

$$K_{NO_x}^{БК} = \frac{2,5 \cdot N^{БК}}{84 + N^{БК}} \quad (2.13)$$

Суммарный выброс NO<sub>2</sub> водогрейными котлами  $M_{NO_2}^{БК}$  определяется аналогично с учетом, что  $B^{БК}$  – расход топлива водогрейных котлов и удельного выброса азота оксидов  $K_{NO_x}^{БК}$ .

Суммарный выброс NO<sub>2</sub> из дымовой трубы

$$\Sigma M_{NO_2} = M_{NO_2}^{ЭК} + M_{NO_2}^{БК}, \text{ г/с} \quad (2.14)$$

Выброс NO<sub>2</sub> приведенный к SO<sub>2</sub> определяется по формуле

$$M_{NO_2}^{ПР} = \Sigma M_{NO_2} \cdot \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NO_2}}, \text{ г/с} \quad (2.15)$$

Суммарный выброс загрязняющих веществ из дымовой трубы

$$M = \Sigma M_3 + \Sigma M_{SO_2} + M_{NO_2}^{IP}, \text{ г/с.} \quad (2.16)$$

Минимальную необходимую высоту дымовой трубы с учетом принятых условий определяется

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{\text{ПДК} - C_{\phi}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{V_{TP}^{BYIX} \cdot \Delta t}}, \text{ м,} \quad (2.17)$$

где  $\Delta t$  – перепад температур, определяется по формуле

$$\Delta t = t_{TP}'' - t_B, \quad (2.18)$$

где  $t_{TP}''$  – принятая средняя температура газов в трубе, °С;  $t_B$  – температура атмосферного воздуха, принимаемая для района расположения предприятия в 13 часов самого жаркого месяца года, °С.

Полученную высоту округлить до стандартного значения.

Таблица 2.4 – Варианты заданий

№ вар.	*Топливо (марка), уголь	Степень очистки газов, $\eta_{эф}$	Скорость выхода газов из трубы $\omega_0$ , м/с	Энергетический котел					Водогрейный котел				
				Кол-во, $n^{ЭК}$	Производительность $N^{ЭК}$ , т/ч	Полный расход топлива $B^{ЭК}$ , т/ч	Объем угод. газов $V_{У.Г.}^{ЭК}$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	Температура $t_{У.Г.}^{ЭК}$ , °С	Кол-во, $n^{БК}$	Производительность $N^{БК}$ , т/ч	Полный расход топлива $B^{БК}$ , т/ч	Объем угод. газов $V_{У.Г.}^{БК}$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч	Температура $t_{У.Г.}^{БК}$ , °С
1	К-А,И-Б (2Б)	0,983	30	6	420	74,1	770	147	3	100	30,7	407	197
2	К-А,Н (1Б)	0,980	29	8	430	75,1	780	148	4	110	31	410	198
3	К-А,Б (2Б)	0,985	28	5	440	77,2	790	149	2	120	31,5	415	199
4	К-А, БТ (1Б)	0,982	27	5	450	78,4	800	150	3	130	32	420	200
5	К-А,БС (3Б)	0,979	31	6	410	74	760	146	3	90	30,1	400	196
6	И,А (3Б)	0,981	32	7	400	73,8	750	145	4	80	29,8	395	195
7	Д (А)	0,984	33	6	460	78,6	810	151	6	100	30,7	405	198
8	К (А)	0,986	30	8	420	74,1	775	146	8	110	31,4	415	197
9	ДН (1Б)	0,983	29	5	430	75,1	785	147	5	90	30,0	397	195
10	К-А,И-Б (2Б)	0,980	28	5	440	77,2	805	150	5	140	32,8	425	204
11	К-А,Н (1Б)	0,985	27	7	450	78,4	810	152	7	150	33,4	430	203
12	К-А,Б (2Б)	0,982	31	7	410	74	780	145	7	100	30,7	403	200
13	К-А, БТ (1Б)	0,988	32	6	400	73,8	760	146	3	90	30,0	395	193
14	К-А,БС (3Б)	0,983	33	7	460	78,6	805	148	3	110	31,1	414	195
15	ДН (1Б)	0,980	30	6	420	74,5	715	147	3	100	30,5	410	197

\* Бассейны угля: Канско-Ачинский б-н, Ирша-Бородинское (К-А,И-Б); Канско-Ачинский б-н, Назаровское (К-А,Н); Канско-Ачинский б-н, Березовское (К-А,Б); Канско-Ачинский б-н, Боготольское (К-А, БТ); Канско-Ачинский б-н, Ирша-Большесырское (К-А,БС); Иркутский б-н, Азейское (И,А); Донецкий б-н (Д); Кузнецкий б-н (К); Днепропетровский б-н, (ДН).

Марка угля: А – антрацит; 1Б – бурый с влагоемкостью более 50 %; 2Б – бурый с влагоемкостью от 30 % до 50 %;

3Б – бурый с влагоемкостью до 30 %.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ ТЭЦ

Расчетные методы определения выбросов ТЭЦ применяются для двух случаев:

- 1) при сжигании жидкого и газообразного топлива;
- 2) при сжигании твердого топлива.

Основными загрязняющими веществами, концентрация и количество которых оценивается, являются: оксид азота, оксид серы и углерод. Кроме того, при сжигании твердых видов топлива рассчитывается количество выбросов твердых частиц (зола). Рассмотрим отдельно методику расчета количества загрязняющих веществ по каждому виду загрязнителя. На основе расчетов может быть определено количество выбросов оксида азота отдельно при сжигании жидкого и газообразного топлива, и отдельно при сжигании твердого топлива.

Фактический расход топлива  $B$ , кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) при расчетной нагрузке может рассчитываться по формуле

$$B = \frac{100 \cdot N}{Q^T \cdot \eta}, \quad (3.1)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка котла, МВт;  $Q^T$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, при сжигании газообразного топлива МДж/ $\text{м}^3$ , при сжигании твердого и жидкого топлива МДж/кг (приложение А);  $\eta$  – коэффициент полезного действия «брутто» котла на расчетной нагрузке, %.

Расчётный расход топлива  $B_p$ , кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) при расчетной нагрузке может рассчитываться по формуле

$$B_p = \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot B, \quad (3.2)$$

где  $q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %. При сжигании газообразного топлива принимается равной нулю, а при сжигании твердого и жидкого топлива (приложение В);  $B$  – фактический расход топлива, кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Максимальное количество оксидов азота  $M_{NO_x}$ , г/с, выбрасываемых в атмосферный воздух с дымовыми газами при сжигании жидкого и газообразного топлива, рассчитывается по формуле

$$M_{NO_x} = B_p \cdot Q^T \cdot K_{NO_x} \cdot \beta_K \cdot \beta_T \cdot \beta_r \cdot \beta_\delta, \quad (3.3)$$

где  $B_P$  – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $Q^T$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, при сжигании газообразного топлива МДж/ $\text{м}^3$ , при сжигании твердого и жидкого топлива МДж/кг;  $K_{NO_x}$  – удельный выброс азота оксидов, определяемый для паровых котлов и для водогрейных котлов, г/МДж;  $\beta_K$  – безразмерный коэффициент, учитывающий конструкцию горелки (при работе на жидком топливе и для всех дутьевых горелок напорного типа (то есть при наличии дутьевого вентилятора на котле)  $\beta_K = 1,0$ . Для горелок инжекционного типа  $\beta_K = 1,6$ . Для горелок двухступенчатого сжигания  $\beta_K = 0,7$ );  $\beta_T$  – безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения;  $\beta_r$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки на образование азота оксидов (приложение Б);  $\beta_\delta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру (приложение Б).

Удельный выброс азота оксидов  $K_{NO_x}$ , г/МДж, рассчитывается по формуле:

1) для паровых котлов:

– газообразное топливо

$$K_{NO_x} = 0,01 \cdot \sqrt{1,59 \cdot B_P \cdot Q^T} + 0,03; \quad (3.4)$$

– жидкое топливо

$$K_{NO_x} = 0,01 \cdot \sqrt{1,59 \cdot B_P \cdot Q^T} + 0,09. \quad (3.5)$$

2) для водогрейных котлов

– газообразное топливо

$$K_{NO_x} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,86 \cdot B_P \cdot Q^T} + 0,03; \quad (3.6)$$

– жидкое топливо

$$K_{NO_x} = 0,0113 \cdot \sqrt{0,86 \cdot B_P \cdot Q^T} + 0,09. \quad (3.7)$$

Расчетный расход топлива на работу котла при расчете валовых выбросов рассчитывается по формуле

$$B_P^{BAL} = \frac{B_P}{3,6 \cdot T}, \quad (3.8)$$

где  $B_P$  – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, т/год (тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ );  $T$  – общее количество часов работы котла за год на данном виде топлива.

Безразмерный коэффициент, учитывающий температуру воздуха, подаваемого для горения, рассчитывается по формуле

$$\beta_T = 0,94 + 0,002 \cdot t_K, \quad (3.9)$$

где  $t_K$  – температура воздуха, подаваемого для горения, °С.

Валовой выброс азота оксидов  $M_{NO_x}^{BAL}$ , т/год, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле

$$M_{NO_x}^{BAL} = 10^{-3} \cdot B_P^{BAL} \cdot Q^T \cdot K_{NO_x} \cdot \beta_K \cdot \beta_T \cdot \beta_r \cdot \beta_\delta, \quad (3.10)$$

где  $B_P^{BAL}$  – расчетный расход топлива на работу котла при расчете валовых выбросов, кг/с ( $m^3/c$ );

Расчет выбросов серы диоксида при сжигании твердого и жидкого топлива производится аналогично, при этом следует отметить, что при сжигании газообразного топлива выбросы серы диоксида для котлов мощностью до 25 МВт не превышают значений в пределах погрешности методик определения, и поэтому не рассчитываются.

Максимальное количество диоксида серы  $M_{SO_2}$ , г/с, выбрасываемое в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B_P \cdot S_{o-k}^r \cdot (1 - \eta_{s1}) \cdot (1 - \eta_{s2}) \cdot 10^3, \quad (3.11)$$

где  $B_P$  – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, кг/с;  $S_{o-k}^r$  – содержание серы в рабочей массе топлива, % (приложение А);  $\eta_{s1}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле (приложение Г);  $\eta_{s2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе попутно с улавливанием твердых частиц (приложение Г).

Доля  $\eta_{s2}$  при улавливании только в сухих золоуловителях, принимается равной нулю.

Валовой выброс азота оксидов  $M_{SO_2}^{BAL}$ , т/год, поступающих в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле

$$M_{SO_2}^{BAL} = 0,02 \cdot B_P^{BAL} \cdot S_{o-k}^r \cdot (1 - \eta_{s1}) \cdot (1 - \eta_{s2}), \quad (3.12)$$

где  $B_P^{BAL}$  – расчетный расход топлива на работу котла при расчете валовых выбросов, т/год;  $S_{o-k}^r$  – содержание серы в рабочей массе топлива, %.

Максимальное количество углерода оксида  $M_{CO}$ , г/с, выбрасываемого в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле

$$M_{CO} = B_P \cdot q_3 \cdot R \cdot Q^T, \quad (3.13)$$

где  $B_P$  – расчетный расход топлива на работу котла при максимальной нагрузке, кг/с ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $q_3$  – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %, определяемые в соответствии со следующей таблицей 3.1;  $R$  – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленную наличием в продуктах неполного сгорания углерода оксида (твердое топливо – 1,0; жидкое топливо – 0,65; газообразное топливо – 0,5);  $Q^T$  – низшая рабочая теплота сгорания топлива, при сжигании газообразного топлива  $\text{МДж}/\text{м}^3$ , при сжигании твердого и жидкого топлива  $\text{МДж}/\text{кг}$ .

Таблица 3.1 – Потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива

Номинальная тепловая мощность котла, МВт	Потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива $q_3$ , %		
	при сжигании газообразного топлива	при сжигании жидкого топлива	при сжигании твердого топлива
до 0,3 МВт включительно	0,11	0,4	0,9
св. 0,3 до 2 МВт включительно	0,09	0,3	0,7
св. 2 до 10 МВт включительно	0,07	0,2	0,5
св. 10 до 25 МВт включительно	0,05	0,1	0,3

Валовой выброс углерода оксида  $M^{BAL}_{CO}$ , т/год, поступающего в атмосферный воздух с дымовыми газами, рассчитывается по формуле

$$M^{BAL}_{CO} = 10^{-3} \cdot B_P^{BAL} \cdot q_3 \cdot R \cdot Q^T, \quad (3.14)$$

где  $B_P^{BAL}$  – расчетный расход топлива на работу котла при расчете валовых выбросов, т/год (тыс.  $\text{м}^3/\text{с}$ ).

**ЗАДАЧА.** Рассчитать максимальное количество и валовой выброс оксидов азота, диоксида серы и оксида углерода при работе котла.

*Вариант 1.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Минск – Ивацевичи). Нагрузка – 650 кВт. КПД «брутто» котла – 96 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 9 %.

*Вариант 2.* Котел паровой. Топливо – мазут малозольный 40 вид I. Нагрузка – 680 кВт. КПД «брутто» котла – 93 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 13 %.

*Вариант 3.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Далина). Нагрузка – 700 кВт. КПД «брутто» котла – 96 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 8 %.

*Вариант 4.* Котел паровой. Топливо – мазут малозольный 100 вид II. Нагрузка – 720 кВт. КПД «брутто» котла – 90 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 12 %.

*Вариант 5.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Минск – Ивацевичи). Нагрузка – 800 кВт. КПД «брутто» котла – 98 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 7 %.

*Вариант 6.* Котел паровой. Топливо – мазут малозольный 40 вид III. Нагрузка – 630 кВт. КПД «брутто» котла – 92 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 14 %.

*Вариант 7.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Далина). Нагрузка – 600 кВт. КПД «брутто» котла – 95 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 8 %.

*Вариант 8.* Котел паровой. Топливо – мазут малозольный 100 вид IV. Нагрузка – 698 кВт. КПД «брутто» котла – 94 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 12 %.

*Вариант 9.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Минск – Ивацевичи). Нагрузка – 785 кВт. КПД «брутто» котла – 97 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 10 %.

*Вариант 10.* Котел паровой. Топливо – мазут малозольный 40 вид V. Нагрузка – 900 кВт. КПД «брутто» котла – 95 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 14 %.

*Вариант 11.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Далина). Нагрузка – 850 кВт. КПД «брутто» котла – 95 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 9 %.

*Вариант 12.* Котел паровой. Топливо – мазут малозольный 100 вид VI. Нагрузка – 770 кВт. КПД «брутто» котла – 92 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 13 %.

*Вариант 13.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Минск – Ивацевичи). Нагрузка – 630 кВт. КПД «брутто» котла – 95 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 10 %.

*Вариант 14.* Котел паровой. Топливо – мазут малозольный 40 вид I. Нагрузка – 690 кВт. КПД «брутто» котла – 94 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 12 %.

*Вариант 15.* Котел водогрейный. Топливо – газ (Торжок – Далина). Нагрузка – 720 кВт. КПД «брутто» котла – 97 %. Число часов работы в месяц – 720 час. Содержание  $O_2$  в уходящих газах – 9 %.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

### РАСЧЕТ ГИДРОЦИКЛОНА

Для очистки сточных вод ТЭЦ от твердых примесей (золы) в поле действия центробежных сил используются открытые и напорные гидроциклоны, схема которого представлена на рисунке 4.1. Открытые гидроциклоны применяют для отделения из сточных вод крупных твердых частиц со скоростью осаждения более 0,02 м/с.

Преимущества открытых гидроциклонов перед напорными – большая производительность и малые потери напора, не превышающие 0,5 кПа.

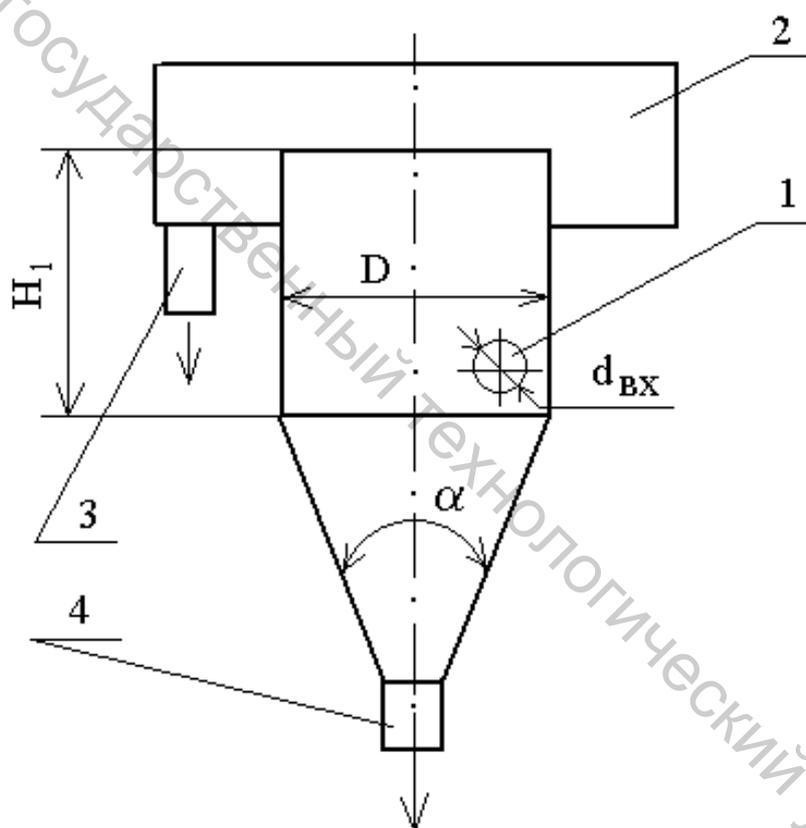


Рисунок 4.1 – Схема открытого гидроциклона: 1 – входной патрубок; 2 – кольцевой водослив; 3 – отвод очищенной воды; 4 – шламоотводящая труба

Площадь поперечного сечения открытого гидроциклона определяется по формуле

$$S = \frac{Q}{q}, \quad (4.1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения открытого гидроциклона,  $\text{м}^2$ ;  $Q$  – максимальный расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $q$  – удельная гидравлическая нагрузка гидроциклона,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{с})$ ;

$$q = 3,6 \cdot K \cdot W_0, \quad (4.2)$$

где  $K$  – коэффициент, характеризующий форму и состояние поверхности отделяемых частиц (задается);  $W_0$  – скорость осаждения твердых частиц в жидкости,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$$W_0 = \frac{9,8 \cdot d_{\text{ч}}^2}{18} \cdot \frac{\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}}}, \quad (4.3)$$

где  $g = 9,81$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  $d_{\text{ч}}$  – диаметр (размер) твердых частиц,  $\text{м}$ ;  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность частиц,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\mu_{\text{ж}}$  – динамическая вязкость жидкости,  $\text{Па} \cdot \text{с}$  ( $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ ).

Диаметр открытого гидроциклона определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \quad (4.4)$$

где  $D$  – диаметр открытого гидроциклона,  $\text{м}$ ;  $S$  – площадь поперечного сечения открытого гидроциклона,  $\text{м}^2$ .

Основные геометрические размеры гидроциклона:

– диаметр входного патрубка,  $\text{м}$

$$d_{\text{вх}} = 0,1 \cdot D;$$

– угол конуса гидроциклона

$$\alpha = 60^\circ;$$

– высота цилиндрической части гидроциклона,  $\text{м}$

$$H_1 = D.$$

Концентрация твердых частиц в сточной воде на выходе из открытого гидроциклона определяется по формуле

$$C_{\text{ВЫХ}} = \frac{A \cdot q}{H_1}, \quad (4.5)$$

где  $A$  – коэффициент, характеризующий коагуляционную способность твердых частиц ( $A = 0,033$  – при наличии процесса коагуляции твердых частиц);

$A = 0,075$  – без коагуляции);  $q$  – удельная гидравлическая нагрузка гидроциклона,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ с})$ ;  $H_l$  – высота цилиндрической части гидроциклона, м.

Количество шлама, оседающего в гидроциклоне, определяется по формуле

$$P = (C_{BX} - C_{ВЫХ}) \cdot Q \cdot \tau, \quad (4.6)$$

где  $P$  – количество шлама, оседающего в гидроциклоне, кг;  $C_{BX}$  – концентрация твердых частиц в сточной воде на входе в гидроциклон,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C_{ВЫХ}$  – концентрация твердых частиц в сточной воде на выходе из гидроциклона,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $Q$  – максимальный расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\tau$  – время работы циклона, 1 час = 3600 с.

**ЗАДАЧА.** Рассчитать геометрические размеры открытого гидроциклона для мокрого золоулавливания. Исходные данные и основные параметры даны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета

№ варианта	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_{BX}, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\rho_{\text{ч}}, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\rho_{\text{ж}}, \text{ кг}/\text{м}^3$	$d_{\text{ц}}, \text{ м}$	$K$	$\mu_{\text{ж}}, \text{ Па}\cdot\text{с} (\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2)$
1	0,0483	1,20	7850	1000	0,0001	1,31	0,00102
2	0,0473	1,18	8150	1000	0,00019	1,29	0,00102
3	0,0490	1,19	6850	1000	0,00018	1,27	0,00102
4	0,0502	1,21	7150	1000	0,00017	1,28	0,00102
5	0,0486	1,22	6650	1000	0,00016	1,26	0,00102
6	0,0515	1,23	9850	1000	0,00015	1,25	0,00102
7	0,0478	1,24	7250	1000	0,00014	1,23	0,00102
8	0,0561	1,19	7550	1000	0,00013	1,22	0,00102
9	0,0524	1,21	8350	1000	0,00012	1,21	0,00102
10	0,0528	1,2	5850	1000	0,00011	1,2	0,00102
11	0,0484	1,18	7150	1000	0,00016	1,25	0,00102
12	0,0472	1,19	6650	1000	0,00015	1,23	0,00102
13	0,0495	1,18	9850	1000	0,00014	1,22	0,00102
14	0,0504	1,19	7850	1000	0,00019	1,2	0,00102
15	0,0488	1,22	9850	1000	0,00018	1,21	0,00102

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

### РАСЧЕТ СУХОГО ЗОЛОУЛОВИТЕЛЯ

Наибольшее распространение в системах золоуловления получили циклоны, то есть аппараты, работающие по принципу осаждения под действием центробежной силы. Циклоны широко применяются для очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов ТЭЦ, работающих на твердом топливе.

Принцип работы циклона заключается в спиралевидном закручивании потока запыленного воздуха в цилиндрической части циклона, где под действием центробежной силы частицы пыли прижимаются к стенкам циклона и под влиянием сил тяжести опускаются вниз в бункерное устройство, из которого пыли периодически удаляются через пылевой затвор. Преимущества циклонов: простота устройства и обслуживания, сравнительно небольшое аэродинамическое сопротивление, высокая производительность и небольшая стоимость. К недостаткам необходимо отнести малое улавливание пылевых частиц размером менее 5 мкм.

Эффективность очистки газа в циклонах в основном определяется дисперсным составом и плотностью частиц улавливаемой пыли, а также вязкостью газа, зависящей от его температуры. При уменьшении диаметра циклона и повышении до определенного предела скорости газа в циклоне эффективность очистки возрастает. Конструктивно циклоны могут быть выполнены одиночными, групповыми и батарейными. Для циклонов принят стандартизированный ряд внутренних диаметров  $D$ : 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм.

Среди одиночных и групповых циклонов наибольшее распространение получили циклоны НИИОГаза типов ЦН и СК-ЦН производительностью 600 – 230 000 м<sup>3</sup>/ч, а среди батарейных циклонов – БЦ, ПБЦ производительностью от 12 000 до 480 000 м<sup>3</sup>/ч.

В институте НИИОГаз разработан ряд конструкций цилиндрических и конических циклонов. Широкое распространение получили цилиндрические циклоны ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24 (рис. 5.1). Цифровое обозначение циклона соответствует углу наклона крышки аппарата и патрубка, подводящего запыленный поток. Для данных циклонов характерна удлиненная цилиндрическая часть корпуса. Циклон ЦН-15у имеет укороченную коническую часть. Его применяют при ограничении по высоте.

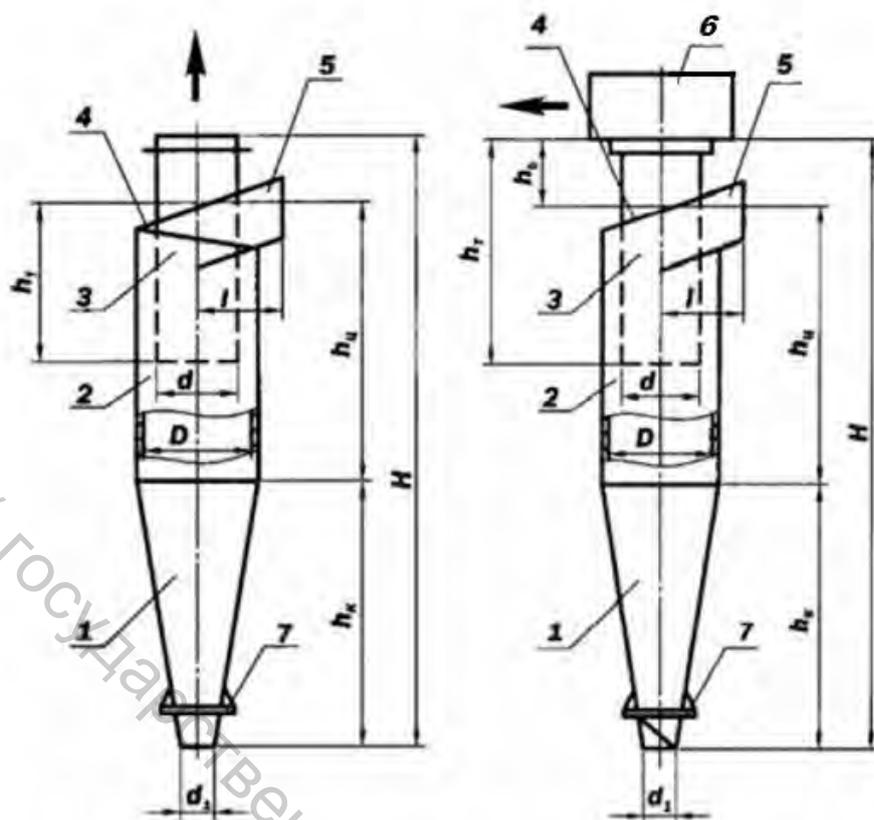


Рисунок 5.1 – Циклон серии ЦН: 1 – конус; 2 – цилиндр;  
3 – выхлопная труба; 4 – винтовая крышка; 5 – входной патрубков;  
6 – улитка; 7 – опорный фланец

Необходимая площадь сечения циклона  $F$  определяется по формуле,  $\text{м}^2$

$$F = \frac{L}{3600 \cdot v_0}, \quad (5.1)$$

где  $L$  – количество выбросов через циклон,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $v_0$  – оптимальная скорость воздуха в сечении циклона,  $\text{м}/\text{с}$ .

Диаметр циклона  $D$  определяется по формуле,  $\text{м}$

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{F}{n}}, \quad (5.2)$$

где  $F$  – площадь сечения циклона,  $\text{м}^2$ ;  $n$  – количество циклонов.

Для циклонов диаметры нормируются в следующем порядке: 150, 200, 300, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400 и 1600 мм. Принимается ближайший больший стандартный диаметр циклона  $D_{\text{СТ}}$ .

Действительная скорость воздуха в циклоне  $v_0^D$  определяется по формуле,  $\text{м}/\text{с}$

$$v_0^D = \frac{1,27 \cdot L}{3600 \cdot n \cdot D_{CT}^2}, \quad (5.3)$$

где  $L$  – количество выбросов через циклон, м<sup>3</sup>/ч;  $n$  – количество циклонов;  $D_{CT}$  – ближайший больший стандартный диаметр циклона.

Действительная скорость в циклоне не должна отличаться от расчетной более чем на 15 %.

$$\Delta = \frac{v_0 - v_0^D}{v_0} \cdot 100 \%. \quad (5.4)$$

Динамическая вязкость воздуха для рабочих условий  $\mu$  определяется по формуле, Па/с

$$\mu = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot \left( \frac{273 + t}{273} \right)^{0,683}, \quad (5.5)$$

где  $t$  – температура выброса, °С.

Аэродинамическое сопротивление циклона  $\Delta P_{Ц}$ , Па определяется по формуле

$$\Delta P_{Ц} = \xi_{Ц} \cdot \left( \frac{\rho_B \cdot v_0^D}{2} \right), \quad (5.6)$$

где  $\rho_B$  – плотность воздуха,  $\rho_B = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>;  $\xi_{Ц}$  – коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости  $v_0^D$ .

Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости  $v_0^D$  с учетом поправочных коэффициентов определяется по формуле

$$\xi_{Ц} = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_0 + \Delta \xi_0, \quad (5.7)$$

где  $\Delta \xi_0$  – коэффициент, зависящий от компоновки циклонов (табл. 5.1);  $k_1$  – коэффициент, зависящий от диаметра циклона (табл. 5.2);  $k_2$  – поправочный коэффициент на запыленность воздуха (табл. 5.3),  $\xi_0$  – коэффициент местного сопротивления (табл. 5.4).

По графику фракционной эффективности очистки (рис. 5.2) определяется размер пыли  $d_{50}$  с эффективностью улавливания 50 % для выбранного типа циклона с  $D_{CT}$ .

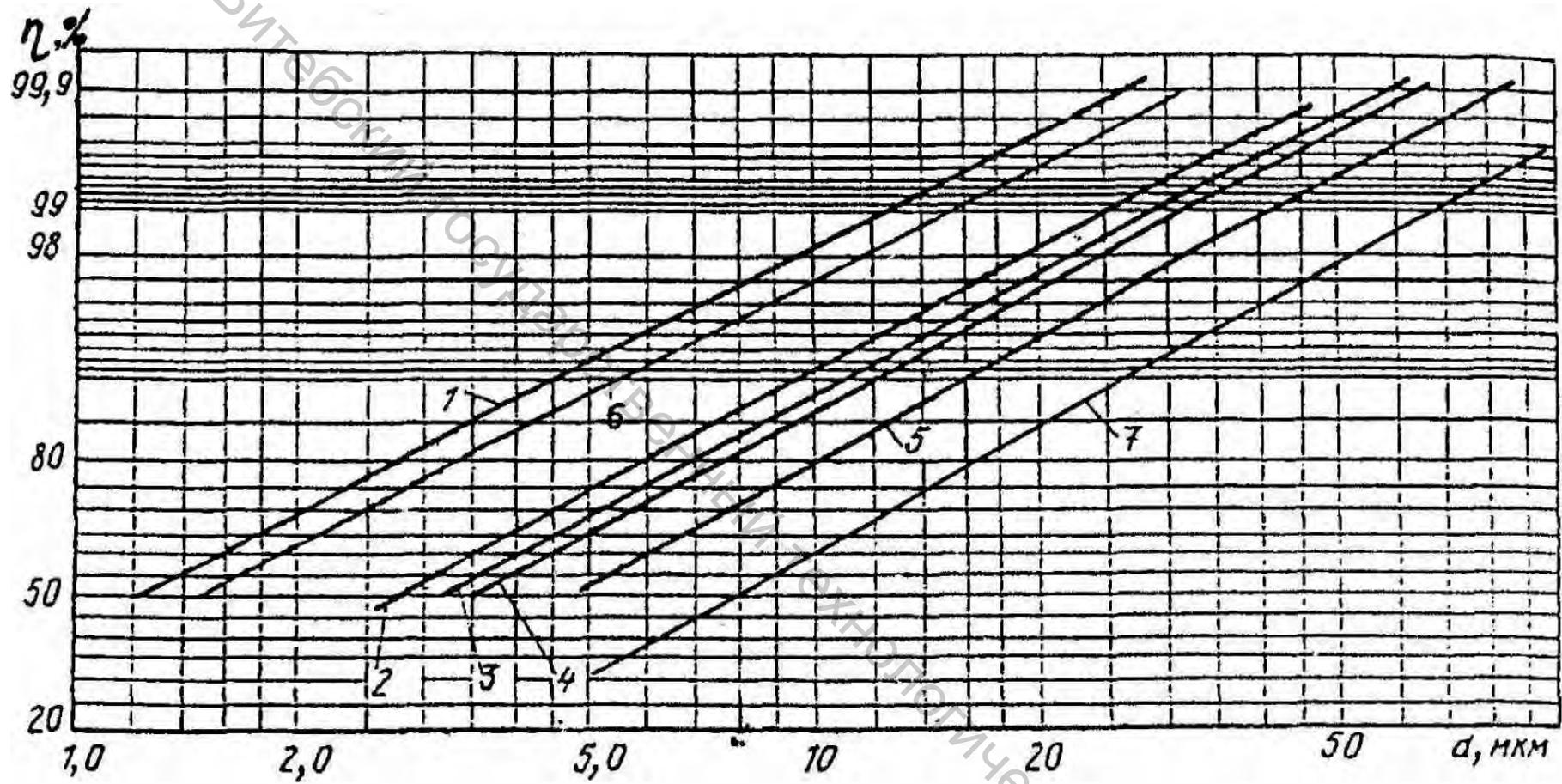


Рисунок 5.2 – Фракционная эффективность очистки циклонов: 1 – СК-ЦН-34; 2 – ЦН-11; 3 – ЦН-15; 4 – ЦН-15У; 5 – ЦН-24; 6 – СДК-ЦН-33; 7 – для примера

Таблица 5.1 – Коэффициент  $\Delta\xi_0$  при различной компоновке циклонов

Компоновка циклонов	Значение $\Delta\xi_0$
Прямоугольная, с отводом очищенного воздуха из общего коллектора	35
Прямоугольная, но с отводом очищенного воздуха через улиточные раскручиватели	28
Круговая	60

Таблица 5.2 – Поправочный коэффициент  $k_1$

Диаметр циклона, мм	Значение коэффициента $k_1$ для циклонов марок		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34м, СИОТ, ЛИОТ, ВЦНИИОТ
150	0,94	0,85	1
200	0,95	0,90	1
300	0,96	0,93	1
450	0,99	1	1
500	1	1	1
>500	1	1	1

Таблица 5.3 – Поправочный коэффициент  $k_2$

Марка циклона	Значения коэффициента $k_2$ при запыленности воздуха, г/м <sup>3</sup>					
	0	10	20	40	80	120
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,9	0,87
ЦН-15	1	0,93	0,93	0,91	0,9	0,87
ЦН-15у	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,9	0,87
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,78	0,78	0,77	0,76
СК-ЦН-34	1	0,98	0,95	0,93	0,91	0,91
СК-ЦН-34м	1	0,99	0,96	0,95	0,92	0,92
СИОТ, ЛИОТ, ВЦНИИОТ	1	1	1	1	1	1

Таблица 5.4 – Коэффициенты местных сопротивлений  $\xi_0$  циклонов и оптимальные скорости движения воздуха  $v_0$

Марка циклона	Скорость движения воздуха, м/с	Значение $\xi_0$ циклонов				
		С выбросом в атмосферу		С улиткой на выхлопной трубе		При групповой установке
		$\xi_{II}$	$\xi_0$	$\xi_{II}$	$\xi_0$	$\xi_{II}$
ЦН-11	3,5	250	6,1	235	5,2	215
ЦН-15	3,5	163	7,8	150	6,7	140
ЦН-15У	3,5	170	8,2	158	7,5	148
ЦН-24	4,5	80	10,9	73	12,5	70
СДК-ЦН-33	2	600	20,3	500	31,3	–
СК-ЦН-34	1,7	1150	24,9	–	30,3	–
СК-ЦН-34м	2	2000	–	–	30,3	–
СИОТ	12	–	6,0	–	4,2	–
ЛИОТ	14	–	4,2	–	3,7	–
ВЦНИИОТ	15	–	10,5	–	10,4	–

Для определения эффективности циклона других размеров и скорости движения воздуха, его вязкости и плотности вычисляют новое значение  $d_{50}^P$ , мкм, по формуле

$$d_{50}^P = 548,5 \cdot d_{50} \cdot \sqrt{\frac{D_{CT} \cdot \mu \cdot v_0}{\rho_{II} \cdot v_0^D}}, \quad (5.8)$$

где  $\rho_{II}$  – плотность пыли.

На график фракционной эффективности очистки (рис. 5.2) наносят точку с координатами 50 % и  $d_{50}^P$  и из нее проводят линию, параллельную линиям графиков, которая определяет фракционную эффективность очистки запроектированного циклона.

По медианному диаметру  $dm$  находят соответствующую точку на оси X, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с построенной кривой и по горизонтальной прямой на пересечении с осью Y получается искомое значение эффективности очистки циклона.

Основные размеры циклона определяют в долях от внутреннего диаметра  $D_{CT}$  по следующим формулам:

- выходное отверстие циклона  $D_{ВЫХ} = 0,59 \times D_{CT}$ , мм;
- размеры входного патрубка  $a \times b = (1,11 \times D_{CT}) \times (0,26 \times D_{CT})$ , мм;
- общая высота циклона  $4,26 \times D_{CT}$ , мм.

**ЗАДАЧА.** Рассчитать параметры работы ( $v_0^D$ ,  $\Delta P_{II}$ ), размеры золоуловителя (циклона) и эффективность золоулавливания. Исходные данные представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчёта золоуловителя

№ вар.	Количество выбросов L, м <sup>3</sup> /ч	Температура выброса t, °С	Начальная концентрация пыли С <sub>п</sub> , г/м <sup>3</sup>	Плотность пыли ρ <sub>п</sub> , кг/м <sup>3</sup>	Медианный диаметр dm, мкм	Тип циклона	Вариант конструкции циклона
1	9500	25	20	2100	8	ЦН-15	С выбросом в атмосферу
2	10000	28	23	2150	10	ЦН-15	С улиткой на вых. трубе
3	8800	20	21	2200	12	ЦН-15У	С выбросом в атмосферу
4	9300	32	24	2250	9	ЦН-15У	С улиткой на вых. трубе
5	9700	27	25	2150	8	ЦН-15	С выбросом в атмосферу
6	10300	29	28	2200	10	ЦН-15	С улиткой на вых. трубе
7	9000	26	26	2250	8	ЦН-15У	С выбросом в атмосферу
8	9500	35	29	2300	10	ЦН-15У	С улиткой на вых. трубе
9	10500	22	30	2350	12	ЦН-15	С выбросом в атмосферу
10	11000	27	32	2400	9	ЦН-15	С улиткой на вых. трубе
11	9800	21	28	2150	8	ЦН-15У	С выбросом в атмосферу
12	9650	34	27	2100	10	ЦН-15У	С улиткой на вых. трубе
13	10300	28	20	2100	12	ЦН-15	С выбросом в атмосферу
14	9000	20	23	2150	9	ЦН-15	С улиткой на вых. трубе
15	9500	32	21	2200	8	ЦН-15У	С выбросом в атмосферу

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, СОЗДАВАЕМОЕ ВОЗДУШНЫМИ ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Высокие темпы электрофикации страны приводят к быстрому росту протяжённости воздушных линий электропередач и повышению их номинальных напряжений – 220 кВ, 330 кВ, 750 кВ.

Основным специфическим фактором влияния воздушных линий (ВЛ) электропередач на окружающую среду является электромагнитное поле (ЭМП). Воздействие ЭМП на почву зависит от концентрации соединений железа и гумуса в самой почве. Электрическое поле вызывает поляризацию и структурную перестройку элементов почвы, влияет на процесс почвообразования. ЭМП может оказывать стимулирующее действие на интенсивность роста зелёных растений на начальной стадии развития, затем действие ЭМП становится угнетающим.

Протяжённость ВЛ велика, и почти каждая из них пересекает ряд крупных и мелких рек и озёр. ЭМП оказывает отпугивающее действие на рыб, создавая электромагнитные плотины на пути миграции рыб и препятствуя нерестовому ходу.

При длительном пребывании человека в ЭМП ( $E > 10$  кВ/м) могут возникнуть неблагоприятные физиологические изменения, связанные с воздействием на нервную и сердечно-сосудистую систему (изменения давления, пульса, аритмия и т. д.). Эти явления исчезают через некоторое время после прекращения воздействия ЭМП.

Разработанные нормы, ограничивающие напряжённость электрического поля под воздушными линиями, приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Допустимая напряжённость электрического поля под ВЛ

Вид местности	Допустимая напряжённость, кВ/м
Труднодоступная местность (болота, горы)	20
Ненаселённая местность	15
Пересечения с дорогами	10
Населённая местность	5
Жилые дома	1,5

Таблица 6.2 – Расстояния от крайних проводов ВЛ до ближайших зданий (санитарно-охранная зона)

Напряжение, кВ	Санитарно-охранная зона, м
220	25
330	30
750	40

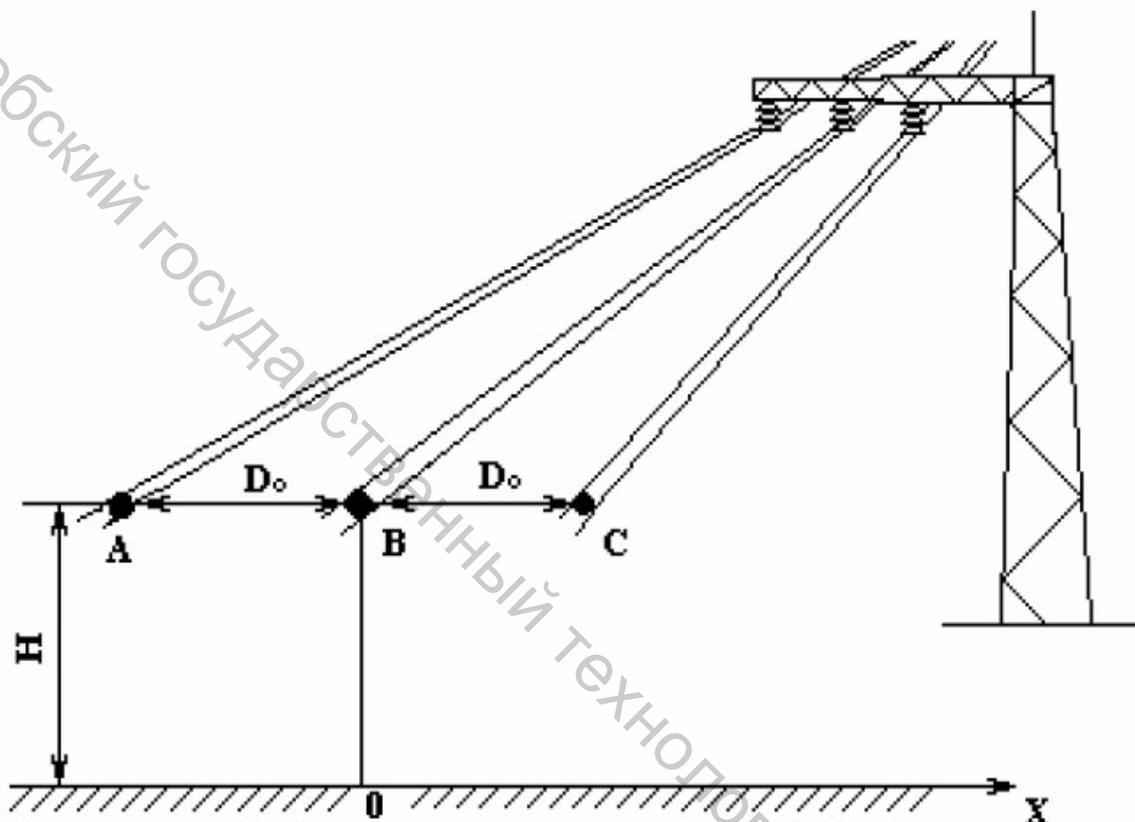


Рисунок 6.1 – Расчётная схема электрического поля воздушных линий:  
А, В, С – провода воздушной линии соответственно фаз А, В, С

Напряжённость электрического поля, создаваемого воздушными линиями на поверхности земли определяется по формуле

$$E = \frac{C \cdot U}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \left[ \frac{2 \cdot H}{(X - D_0)^2 + H^2} - \frac{H}{X^2 + H^2} - \frac{H}{(X + D_0)^2 + H^2} \right], \quad (6.1)$$

где  $E$  – напряжённость электрического поля, кВ/м;  $C$  – ёмкость единицы длины линии, ф/м;  $U$  – номинальное напряжение, кВ;  $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  кл·Н/м;  $H$  – высота подвеса провода, м;  $D_0$  – расстояние между проводами, м;  $X$  – расстояние до расчётной точки, м.

Ёмкость единицы длины определяется по формуле

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg\left(\frac{2 \cdot D_0}{d}\right)}, \quad (6.2)$$

где  $d$  – диаметр провода, м.

**ЗАДАЧА.** Рассчитать для заданного варианта (табл. 6.3) напряжённость электрического поля, создаваемого воздушной линией электропередач в точках с координатами  $X = 0, 10, 20, 30, 40, 50$  м. Сравнить полученные значения с допустимыми величинами (табл. 6.1). Построить график  $E = f(X)$ . Определить, в какой местности можно проложить данную линию электропередач.

Таблица 6.3 – Варианты заданий

№	Напряжение $U, \text{кВ}$	Сечение провода, $S, \text{мм}^2$	Число проводов в фазе, $n$	Расстояние между фазами, $D_0, \text{м}$	Высота Подвеса провода, $H,$ м
1	220	300	1	8	20,5
2	220	330	1	9	22,5
3	220	400	1	10	17,5
4	220	500	1	11	20,5
5	220	600	1	12	22,5
6	330	300	1	10	17,5
7	330	330	1	11	20,5
8	330	400	2	12	22,5
9	330	500	2	13	25,5
10	330	600	2	14	22,5
11	750	300	3	18	30
12	750	400	4	18,5	32
13	750	400	4	19	35
14	750	500	4	19,5	32
15	750	500	4	20	35

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7

### АКУСТИЧЕСКИЙ ШУМ ТЭЦ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Шумом называется совокупность звуков различной интенсивности и частоты, вызывающая неприятные субъективные ощущения у человека и приводящая к снижению работоспособности и ухудшению состояния здоровья человека.

При эксплуатации ТЭЦ, мини-ТЭЦ происходит не только загрязнение атмосферного воздуха продуктами сгорания топлива и тепловыми излучениями, но и акустическое загрязнение окружающей среды. Интенсивное шумовое воздействие на организм человека неблагоприятно влияет на протекание нервных процессов, способствует развитию утомления, изменениям в сердечно-сосудистой системе и появлению шумовой патологии, среди многообразных проявлений которой ведущим клиническим признаком является медленно прогрессирующее снижение слуха.

Источниками шума на ТЭЦ, мини-ТЭЦ являются котлы, двигатели, насосы, компрессоры, устье дымовой трубы, приточно-вытяжная вентиляция, механические вибрации.

Двигатели создают шум, который вызывается механическими вибрациями, работой систем охлаждения и выхлопов. Шумы газотурбинных двигателей излучаются через воздухозаборный и выхлопной тракты, а также от корпуса агрегата. Через воздухозаборный тракт в атмосферу излучается шум, который имеет аэродинамическую природу и обусловлен турбулентностью потока. В спектре шума всасывания ГТУ имеются тональные составляющие: основная частота вихревого шума для газотурбинных установок (50–160 Гц) пропорциональна числу оборотов в секунду, частоты сиренного шума равны произведению числа лопаток ротора на число оборотов в секунду (1000–5000 Гц). Шум, излучаемый выхлопным трактом ГТУ, вызван процессом горения, высокой скоростью прохождения газов через проточную часть турбины и турбулентностью газового потока. Максимальные уровни шума приходятся на высокие (4000–8000 Гц) и низкие (31–125 Гц) частоты.

Шум воздушных линий электропередач вызывается коронным разрядом на проводах. Провода выбирают таким образом, чтобы напряжённость на поверхности провода не превосходила начальной напряжённости коронного разряда. Однако неровности на поверхности провода из-за механических повреждений (заусенцы, царапины), загрязнения (капли смазки, твёрдые частицы), осадки (капли дождя, росы, снега, и т. д.) приводят к местному увеличению напряжённости электрического поля. В результате коронный разряд возникает на проводах воздушных линий электропередач при напряжении меньшем, чем напряжение самостоятельного разряда на чистых неповреждённых проводах.

Поэтому шум воздушных линий можно слышать и в хорошую погоду, но особенно он усиливается при дожде.

**ЗАДАЧА.** В соответствии с вариантом (табл. 7.1). Нормируемые значения шума приведены в (приложение Д)

1. Рассчитать шум на расстояниях  $X_l = 50, 60, 70, 80, 90$  и  $100$  м от крайней фазы воздушной линии электропередач. Сделать вывод о возможности прокладки воздушной линии электропередач вблизи жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

2. Рассчитать радиус санитарно-защитной зоны  $R_{СЗЗ}$  для обеспечения норм по шуму вблизи жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

Максимальная напряжённость на поверхности провода определяется по формуле

$$E_{MAX} = \frac{C \cdot U}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r}, \text{ кВ/м} \quad (7.1)$$

где  $E_{MAX}$  – максимальная напряжённость электрического поля, кВ/м;  $C$  – ёмкость единицы длины линии, ф/м;  $U$  – номинальное напряжение, кВ;  $\epsilon_0$  –  $8,85 \times 10^{-12}$  кл·Н/м;  $r$  – радиус провода, м.

Ёмкость единицы длины определяется по формуле

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg\left(\frac{2 \cdot D_0}{d}\right)}, \text{ Ф/м} \quad (7.2)$$

где  $d$  – диаметр провода, м;  $D_0$  – расстояние между проводами, м.

Уровень шума на расстояниях  $X_l$  от крайней фазы воздушной линии электропередач определяется по формуле

$$L = 20 + 0,0111 \cdot E_{MAX} + 900 \cdot r + 15 \cdot \lg n - 20 \lg X_l, \text{ дБА.} \quad (7.3)$$

Радиус санитарно-защитная зоны  $R_{СЗЗ}$  для обеспечения норм по шуму в зависимости от электрической мощности ТЭЦ определяется формулой

$$R_{СЗЗ} = K_1 \cdot K_2 \cdot (N_{УСТ})^{1/2}, \text{ м} \quad (7.4)$$

где  $N_{УСТ}$  – установленная электрическая мощность, МВт;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий вид оборудования и особенности распространения шума от него ( $K_1 = 35$  для ТЭЦ);  $K_2$  – коэффициент, учитывающий режим работы ( $K_2 = 1$  при работе на номинальной мощности).

Таблица 7.1 – Варианты заданий

№	Напряжение $U, \text{kV}$	Сечение провода, $S, \text{мм}^2$	Число проводов в фазе, $n$	Расстоя- ние меж- ду фаза- ми, $D_0, \text{м}$	Высота подвеса провода, $H, \text{м}$	Установ- ленная электриче- ская мощ- ность, $N_{\text{уст}},$ МВт	Территория застройки
1	220	240	1	7	17,5	0,2	больница
2	220	300	1	8	20,5	0,5	санаторий
3	220	330	1	9	22,5	1	пол-ка
4	220	400	1	10	17,5	2	школа
5	220	500	1	11	20,5	4	ВУЗ
6	220	600	1	12	22,5	5	биб-ка
7	330	240	1	9	10,7	6	дома
8	330	300	1	10	17,5	7	гостиница
9	330	330	1	11	20,5	8	кафе
10	330	400	2	12	22,5	9	магазин
11	330	500	2	13	25,5	10	вокзал
12	330	600	2	14	22,5	11	дома
13	750	240	3	17,5	28	20	вокзал
14	750	300	3	18	30	21	аэропорт
15	750	400	4	18,5	32	22	предприятие

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8

### РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Укрупненную оценку экономического ущерба, причиняемого промышленными выбросами загрязняющих веществ в атмосферу  $Y_{\text{атм}}$ , можно определить по формуле

$$Y_{\text{атм}} = Y_{\text{уд}} \cdot M \cdot \sigma_{\text{зАЗ}} \cdot f, \quad (8.1)$$

где  $Y_{\text{уд}}$  – удельный ущерб от выброса в атмосферу одной условной тонны загрязняющих веществ, ден. ед. / усл. т. (выдает преподаватель);  $M$  – приведенная масса годового выброса вредных компонентов, усл. т/год;  $\sigma_{\text{зАЗ}}$  – показатель относительной опасности загрязнения для территорий, попавших в зону загрязнения;  $f$  – поправка на характер рассеивания примесей в атмосфере.

Приведенная масса годового выброса  $M$  вычисляется на основе информации о количестве  $m_i$  поступающего в атмосферу вещества  $i$ -го типа и показателя относительной агрессивности вещества  $A_i$ . Показатель относительной агрессивности вещества  $A_i$  характеризует количество оксида углерода, эквивалентное по воздействию на окружающую среду одной тонны  $i$ -го вещества.

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i, \quad (8.2)$$

где  $m_i$  – количество поступающего в атмосферу вещества  $i$ -го типа, т/год;  
 $A_i$  – показатель относительной агрессивности вещества  $i$ -го типа, усл.т/т.;  
 $n$  – количество загрязняющих веществ.

Количество поступающего в атмосферу вещества  $i$ -го типа, определяется по формуле

$$m_i = C_i \cdot F \cdot v \cdot \tau \cdot 10^9, \quad (8.3)$$

где  $C_i$  – концентрация вещества  $i$ -го типа, поступающего в атмосферу, мг/м<sup>3</sup>;  
 $F$  – площадь поперечного сечения устья источника организованного выброса в атмосферу, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с;  $\tau$  – продолжительность работы предприятия (источника выброса), с/год, которая определяется исходя из режима работы предприятия. При 1 и 2-х сменной работе – 250 суток в году, при 3-х сменной (круглосуточной) – 365 суток. Одна смена – 8 часов.

Для определения показателя относительной агрессивности вещества  $A_i$  пользуются формулой

$$A_i = a_i \cdot \alpha_i \cdot \delta_i \cdot \lambda_i \cdot \beta_i, \quad (8.4)$$

где  $a_i$  – характеризует относительную опасность присутствия примеси в воздухе, вдыхаемом человеком;  $\alpha_i$  – поправка, учитывающая вероятность накопления исходной примеси или вторичных загрязнителей в компонентах окружающей среды и цепях питания, а также поступления примеси в организм человека неингаляционным путем;  $\delta_i$  – поправка, характеризующая вредное воздействие примеси на остальные объекты воздействия (кроме человека);  $\lambda_i$  – поправка на вероятность вторичного заброса примесей в атмосферу после их оседания на поверхностях (для пылей);  $\beta_i$  – поправка на вероятность образования из исходных примесей, выброшенных в атмосферу, вторичных загрязнителей, более опасных, чем исходные (для легких углеводородов).

Значения показателей агрессивности  $A_i$ , показателей относительной опасности  $a_i$  и поправок  $\lambda_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  и  $\delta_i$  для некоторых примесей атмосферного воздуха приведены в таблице 8.1

Показатель относительной опасности загрязнения  $\sigma_{з\text{аз}}$  определяется с учетом состава территорий и их площадей. В целом он может быть рассчитан по формуле

$$\sigma_{з\text{аз}} = \sum_{j=1}^1 (S_j / S_{з\text{аз}}) \cdot \sigma_j, \quad (8.5)$$

где  $S_j$  – площадь  $j$ -типа территории;  $S_{з\text{аз}}$  – площадь зоны активного загрязнения;  $\sigma_j$  – показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха территории  $j$ -типа.

Если загрязнение приходится на два типа территории,  $\sigma_{з\text{аз}}$  определяется по формуле

$$\sigma_{з\text{аз}} = \frac{S_1}{S_{з\text{аз}}} \sigma_1 + \frac{S_2}{S_{з\text{аз}}} \sigma_2. \quad (8.6)$$

Таблица 8.1– Предельно допустимые концентрации, показатели агрессивности и опасности некоторых примесей в атмосферном воздухе

Примесь	$a_i$ усл.т/т	$\lambda_i$	$\alpha_i$	$\beta_i$	$\delta_i$	$A_i$
Оксид углерода	1	1	1	1	1	1
Летучие низкомолекулярные углеводороды (в пересчете на углерод)	0,63	1	1	2	1	1,3
Зола	6,3	1	2	1	1,2	15,1
Диоксид серы	11,0	1	1	1	1,5	16,5
Диоксид азота	11,9	1	1	1	1,5	17,9
Пыль углерода, сажа	17,3	1	2	1	1,2	41,5
Соединения шестивалентного хрома в пересчете на $Cr_2O_3$	2000	1	5	1	1	10000
Неорг. соединения ртути в пересчете на ртуть	4480	1	5	1	1	22400
Неорг. соединения свинца в пересч. на свинец	4472	1	5	1	1	22360
3,4-бенз(а)пирен	$6,3 \cdot 10^5$	1	2	1	1	126000

Значения показателей относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов  $\sigma_j$  приведены в таблице 8.2.

Распространение вредных веществ в окружающей среде зависит от типа и высоты источника загрязнения. Поэтому форма и площадь зоны активного загрязнения (ЗАЗ) определяется с учетом специфических особенностей источника и высоты выброса.

Зоной активного загрязнения является:

1) круг с центром в источнике и радиусом  $R=50h$  для труб с высотой  $h < 10$  м

$$S_{зaz} = \pi R^2 ; \quad (8.7)$$

Таблица 8.2 – Значения показателей относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха различных типов территорий

Номер типа территории	Тип загрязненной территории	$\sigma_j$
1	Территории курортов, санаториев, заповедников, заказников	10
2	Территории пригородных зон отдыха, садовых и дачных участков	8
3	Территории населенных мест с известной плотностью населения $n$ чел./га	$0,1 \times n$
4	Территории населенных мест с известной плотностью пребывания населения $P$ чел.·ч/га	$P: 35000$
5	Центральная часть города с населением свыше 300 тыс. чел.	8
6	Территории промышленных предприятий и промузлов	4
7	Леса 1-й группы	0,2
8	Леса 2-й группы	0,1
9	Леса 3-й группы	0,025
10	Пашни обычные, южные зоны (южнее 50 с.ш.)	0,25
11	Пашни орошаемые, южные зоны (южнее 50 с.ш.)	0,5
12	Пашни обычные, центральный черноземный район, южная Сибирь	0,3
13	Пашни орошаемые, центральный черноземный район, южная Сибирь	0,3
14	Пашни обычные, прочие районы	0,1
15	Пашни орошаемые, прочие районы	0,2
16	Сады, виноградники обычные	0,5
17	Сады, виноградники орошаемые	1,0
18	Пастбища, сенокосы обычные	0,05
19	Пастбища, сенокосы орошаемые	0,1

2) кольцо с внутренним радиусом  $R_{ВНУТР}=2\phi h$  и внешним радиусом  $R_{ВНЕШ}=20\phi h$  для организованных источников высотой  $h \geq 10$  м.

$$S_{зая} = \pi (R_{ВНЕШ}^2 - R_{ВНУТР}^2). \quad (8.8)$$

Высота выброса загрязняющих компонентов организованным источником зависит от размеров трубы и подъема факела выброса под влиянием разности температур  $\Delta t$  в устье источника и в окружающей атмосфере на уровне устья. Для учета подъема факела выброса используется поправка  $\varphi$ .

$$\varphi = 1 + \Delta t/75 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (8.9)$$

В большинстве случаев зона активного загрязнения неоднородна и состоит из территорий, занятых различными объектами. Площадь каждого типа территории, входящего в зону загрязнения, определяется путем ее обмера.

Степень воздействия вредных веществ на объекты окружающей среды зависит от характера рассеивания примесей в атмосфере. На нее влияют геометрическая высота устья источника по отношению к среднему уровню ЗАЗ; уровень теплового подъема факела выброса в атмосферу  $\varphi$ ; среднегодовое значение модуля скорости ветра на уровне флюгера  $U$ ; скорость оседания частиц  $V$  или фактическое эксплуатационное значения коэффициента очистки (улавливания)  $\eta$ .

В связи с этим величина поправки на характер рассеивания примесей  $f$  в атмосфере определяется следующим образом.

При рассеивании газообразных частиц при скорости оседания  $V < 1 \text{ см/с}$ , или при значении коэффициента очистки  $\eta \geq 90 \%$

$$f = f_1 = (100 / (100 + \varphi h)) \cdot (4 / (1 + U)); \quad (8.10)$$

При скорости оседания  $1 \text{ см/с} < V < 20 \text{ см/с}$  или при значении коэффициента очистки  $70 \% < \eta < 90 \%$

$$f = f_2 = (1000 / (60 + \varphi h))^{0.5} \cdot 4 / (1 + U); \quad (8.11)$$

При скорости оседания  $V > 20 \text{ см/с}$  или при значении коэффициента очистки  $\eta < 70 \%$ .

$$f = f_3 = 10. \quad (8.12)$$

**ЗАДАЧА.** Рассчитать экономический ущерб от загрязнения атмосферы вредным веществом, выбрасываемым промышленным предприятием. Исходные данные для расчета приведены в таблице 8.3.

*Порядок выполнения расчета.*

1. Рассчитайте количество поступающего в атмосферу вещества  $m_i$ .
2. Определите значение показателя относительной агрессивности вещества  $A_i$ .
3. Найдите приведенную массу годового выброса  $M$ .

4. Рассчитайте площадь зоны активного загрязнения  $S_{ЗАЗ}$ .
5. Определите площади территорий  $S_j$ , вошедших в зону активного загрязнения (исходя из их процентного соотношения в ЗАЗ).
6. Установите  $\sigma_j$  для территорий, вошедших в зону активного загрязнения.
7. Рассчитайте  $\sigma_{ЗАЗ}$ .
8. Рассчитайте поправку на характер рассеивания примесей  $f$ .
9. Рассчитайте экономический ущерб от загрязнения атмосферы выбросом загрязняющего вещества.

Витебский государственный технологический университет

Таблица 8.3 – Исходные данные для расчета

Номер варианта	Наименование загрязняющего вещества	Высота источника, h, м	Масса годового выброса m, т/год				Параметры ЗАЗ		Температура выбрасываемой смеси, °С	Температура среднего год. наружного воздуха, °С	Коэффициент очистки, П, %	Скорость ветра, u, м/с
			Концентрация вещества на выходе из источника, С, мг/м <sup>3</sup>	Скорость выхода смеси из устья источника, v, м/с	Диаметр устья источника, d, м	Режим работы (число смен в сутки)	Номер типа территорий, (таблица 4.2)	% зоны активного загрязнения				
1	Диоксид серы	10	1,8	9,4	0,9	1	67	6436	67	5,3	95	3,3
2	Диоксид азота	12	2,1	12,8	1,25	2	68	2872	85	5,6	98	2,7
3	Соединен хрома	19	0,17	14,5	1,0	3	618	8119	19	6,5	93	3,5
4	Соединения ртути	20	0,05	16,2	1,5	1	61	6139	21	6,6	87	3,9
5	Летучие углеводороды	15	8,3	12,5	0,87	2	611	3367	74	5,8	72	4,5
6	Зола	21,4	5,6	18,6	1,3	3	62	2179	26	4,3	93	3,7
7	Соединения свинца	32	3,7	16,8	0,7	2	69	2773	47	5,2	76	3,2
8	Диоксид серы	20	1,8	9,4	0,9	1	67	6436	67	5,3	95	3,3
9	Диоксид азота	25	2,1	12,8	1,25	2	68	2872	85	5,6	98	2,7
10	Соединен хрома	21,4	0,15	14,5	0,5	3	618	8119	19	6,5	93	3,5
11	Зола	21,6	7,8	16,2	0,63	1	61	6139	21	6,6	87	3,9
12	Летучие углеводороды	23,3	8,3	12,5	0,83	2	611	3367	74	5,8	72	4,5
13	Зола	31,8	8,4	18,6	1,3	3	62	2179	26	4,3	93	3,7
14	Диоксид серы	35	1,8	9,4	0,9	1	67	6436	67	5,3	95	3,3
15	Диоксид азота	32	2,1	12,8	0,63	2	68	2872	85	5,6	98	2,7

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987.

2. Об утверждении инструкции о порядке установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь : [утв. постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 23.06.2009 № 55].

3. Стриха, И. И. Экологические аспекты энергетики: Атмосферный воздух: учеб. пособие / И. И. Стриха, Н. Б. Карницкий. – Минск : УП «Технопринт», 2001. – 375 с.

4. ТКП 17.08-01-2006 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью до 25 МВт. – Введ. 2006–02–28. – Мн. : Минприроды, 2006. – 51 с.

5. Основы природопользования : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 1 – 33 01 07 «Природоохранная деятельность» / сост. Н. Н. Шешко, Н. Н. Шпендик. – Брест : УО «БрГТУ», 2013. – 59 с.

6. Родионов, А. И. Техника защиты окружающей среды : учеб. для ВУЗов / А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников. – Москва : Химия, 1989. – 420 с.

7. Алиев, Г. М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. Справочник. – М. : «Металлургия», 1986 г. – 544 с.; с ил.

8. Кислов, Н. В. Рекомендации по проектированию и расчету пылеуловителей типа циклон для предприятий стройиндустрии / Н. В. Кислов [и др.]. – Мн. : УП «Технопринт», 2001. – 40 с.; с ил.

9. Электрическое поле и шум, создаваемые воздушными линиями электропередач высокого напряжения : методические указания по выполнению практических работ по курсу «Экология» / сост. О. В. Маслеева, Т. И. Курагина. – Н. Новгород, 2005 – 9 с.

10. Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки : [утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 16.11.2011 № 115].

11. Требования к организации санитарно-защитных зон предприятий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду : [утв. постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 15.05.2014 № 35].

## Приложение А

Таблица А1 – Расчетные характеристики твердых и жидких топлив (ТКП 17.08-01-2006)

Наименование топлива	Марка а <sup>10</sup>	Класс или вид	Состав рабочей массы топлива, %							Низшая рабочая теплота сгорания $Q_i^r$ , МДж/кг
			$W_t^r$	$A^r$	$S_{o-k}^r$	$C^r$	$H^r$	$N^r$	$O^r$	
Донецкий б-н	Д	Р	13,0	27,8	2,9	44,1	3,3	0,9	8,0	17,25
Донецкий б-н	Г	Р	10,0	28,4	3,0	48,3	3,4	0,9	5,6	18,92
Донецкий б-н	Ж	Р	6,0	30,1	2,5	53,4	3,3	1,0	3,7	21,14
Донецкий б-н	Т	Р	6,0	32,0	2,2	55,2	2,5	1,0	1,1	20,60
Донецкий б-н	А	СШ	8,5	34,8	1,5	52,2	1,0	0,5	1,5	18,23
Кузнецкий б-н	Д	Р.СШ	11,5	15,9	0,4	56,4	4,0	1,9	9,9	21,90
Кузнецкий б-н	Г	Р.СШ	8,5	16,9	0,4	60,1	4,2	2,0	7,9	23,57
Кузнецкий б-н	Т	Р.СШ	7,0	14,6	0,5	70,2	3,0	1,7	3,0	25,12
Кузнецкий б-н	А	Р	10,0	16,2	0,4	68,8	1,5	0,8	2,3	24,16
Днепровский б-н	1Б	Р	54,0	16,6	1,9	19,5	1,7	0,2	6,1	6,38
Кнзеловский б-н	Ж	Р	6,0	32,0	5,3	48,6	3,5	0,6	4,0	19,68
Кнзеловский б-н	Г	Р, МСШ	7,5	37,9	4,3	41,5	3,2	0,5	5,1	16,71
Канско-Ачинский б-н. Ирша-Бородинское	2Б	Р	33,0	7,4	0,2	42,6	3,0	0,6	13,2	15,28
Канско-Ачинский б-н. Назаровское	2Б	Р	39,0	7,9	0,4	37,2	2,5	0,5	12,5	12,85
Канско-Ачинский б-н. Березовское	2Б	Р	33,0	4,7	0,2	44,2	3,1	0,4	14,4	15,66
Канско-Ачинский б-н. Боготольское	1Б	–	44,0	6,7	0,5	34,3	2,4	0,3	11,8	11,81
Канско-Ачинский б-н. Большесырское	3Б	–	24,0	6,1	0,2	51,7	3,6	0,6	13,8	19,05
Иркутский б-н, Черемховское	Д	Р, МСШ	15,0	29,8	0,9	42,5	3,1	0,6	8,1	16,41
Иркутский б-н, Азейское	3Б	Р	25,0	16,5	0,5	42,7	3,1	0,9	11,3	15,99
Партизанский б-н	Г	Р.СШ	5,5	34,0	0,4	49,8	3,2	0,8	6,3	19,47
Партизанский б-н	Ж	Р	5,5	32,1	0,4	52,7	3,2	0,7	5,4	20,52
Партизанский б-н	Т	Р	5,0	28,5	0,5	58,8	2,7	0,7	3,8	22,19
Печорский б-н, Интинское	Д	Р	11,5	28,8	2,5	44,2	2,9	1,5	8,6	16,87
Печорский б-н, Воркутинское	Ж	Р	8,0	29,4	1,0	52,6	3,3	1,5	4,2	20,77

<sup>10</sup> Д – длиннопламенный; Г – газовый; Ж – жирный; Т – тощий; А – антрациты. 1Б – бурый с влажностью более 50 %; 2Б – бурый с влажностью от 30 до 50 %; 3Б – бурый с влажностью до 30 %.

Продолжение таблицы А1

Наименование топлива	Марка а <sup>10</sup>	Класс или вид	Объемы воздуха и продуктов сгорания м <sup>3</sup> /кг, t = 0°C, P=101,3 кПа						Отношение объема сухих и влажных продуктов сгорания k	Предельные значения, %	
			V <sub>B</sub> <sup>O</sup>	V <sub>RO2</sub>	V <sub>N2</sub> <sup>O</sup>	V <sub>H2O</sub> <sup>1,4</sup>	V <sub>dry</sub> <sup>1,4</sup>	V <sub>damp</sub> <sup>1,4</sup>		W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>
Донецкий б-н	Д	Р	4,63	0,84	3,66	0,63	6,35	6,99	0,91	18,0	35,0
Донецкий б-н	Г	Р	5,11	0,92	4,04	0,62	7,01	7,63	0,92	12,0	37,5
Донецкий б-н	Ж	Р	5,58	1,01	4,42	0,57	7,66	8,23	0,93	8,0	37,5
Донецкий б-н	Т	Р	5,61	1,05	4,44	0,48	7,73	8,20	0,94	8,0	35,0
Донецкий б-н	А	СШ	4,91	0,98	3,88	0,33	6,83	7,15	0,95	9,0	40,0
Кузнецкий б-н	Д	Р.СШ	5,76	1,06	4,56	0,72	7,92	8,64	0,92	13,0	25,0
Кузнецкий б-н	Г	Р.СШ	6,21	1,12	4,92	0,71	8,53	9,24	0,92	11,0	25,0
Кузнецкий б-н	Т	Р.СШ	6,95	1,31	5,51	0,58	9,60	10,18	0,94	10,0	25,0
Кузнецкий б-н	А	Р	6,45	1,29	5,10	0,44	8,97	9,41	0,95	12,0	20,0
Днепроvский б-н	1Б	Р	2,04	1,38	1,62	0,90	3,82	4,72	0,81	60,0	20,0
Кнзеловский б-н	Ж	Р	5,29	0,94	4,19	0,58	7,25	7,83	0,93	7,0	37,0
Кнзеловский б-н	Г	Р, МСШ	4,51	0,80	3,57	0,55	6,18	6,73	0,92	10,0	45,0
Канско-Ачинский б-н. Ирша-Бородинское	2Б	Р	4,15	0,80	3,28	0,84	5,74	6,57	0,87	36,0	20,0
Канско-Ачинский б-н. Назаровское	2Б	Р	3,57	0,70	2,82	0,84	4,95	5,79	0,85	40,0	20,0
Канско-Ачинский б-н. Березовское	2Б	Р	4,28	0,83	3,38	0,85	5,92	6,77	0,87	38,0	12,0
Канско-Ачинский б-н. Боготольское	1Б	–	3,31	0,64	2,62	0,89	4,58	5,47	0,84	45,0	12,0
Канско-Ачинский б-н. Болыпесырское	3Б	–	5,10	0,97	4,03	0,81	7,04	7,85	0,90	30,0	12,0
Иркутский б-н, Черемховское	Д	Р, МСШ	4,36	0,80	3,45	0,63	5,99	6,62	0,91	19,0	40,0
Иркутский б-н, Азейское	3Б	Р	4,26	0,80	3,37	0,75	5,87	6,62	0,89	30,0	27,5
Партизанский б-н	Г	Р.СШ	5,08	0,93	4,02	0,54	6,98	7,52	0,93	7,0	40,0
Партизанский б-н	Ж	Р	5,37	0,99	4,25	0,54	7,38	7,92	0,93	7,0	40,0
Партизанский б-н	Т	Р	5,83	1,10	4,61	0,49	8,05	8,54	0,94	8,0	35,0
Печорский б-н, Интинское	Д	Р	4,49	0,84	3,56	0,57	6,20	6,77	0,92	13,0	33,0
Печорский б-н, Воркутинское	Ж	Р	5,44	0,99	4,31	0,59	7,48	8,07	0,93	9,0	35,0

Продолжение таблицы А1

Наименование топлива	Марка	Класс или вид	Состав рабочей массы топлива, %							Низшая рабочая теплота сгорания $Q_i^r$ , МДж/кг
			$W_t^r$	$A^r$	$S_{o-k}^r$	$C^r$	$H^r$	$N^r$	$O^r$	
Эстон-сланец	сланец	0-300 мм	12,0	44,4	1,4	19,9	2,6	0,1	2,9	9,00
Ленинград-сланец	сланец	0-300 мм	11,0	48,2	1,3	17,3	2,2	0,1	2,5	7,66
Кашпирское мес-не	сланец	0-300 мм	14,0	58,9	2,4	10,9	1,4	0,3	3,8	4,60
Мазут малозольный	40 или 100	вид I	0,15	0,04	0,4	86,3	12,91		0,2	40,48
Мазут малозольный	40 или 100	вид II	0,2	0,04	0,85	85,6	13,01		0,3	40,39
Мазут малозольный	40 или 100	вид III	0,36	0,04	1,2	85,0	13,0		0,4	40,21
Мазут малозольный	40 или 100	вид IV	0,49	0,04	1,8	84,1	13,07		0,5	40,04
Мазут малозольный	40 или 100	вид V	0,74	0,04	2,2	83,2	13,22		0,6	39,92
Мазут малозольный	40 или 100	вид VI	1,0	0,04	2,7	82,4	13,16		0,7	39,64
Мазут зольный	40 или 100	вид I	0,2	0,12	0,4	85,8	13,23		0,25	40,63
Мазут зольный	40 или 100	вид II	0,3	0,12	0,85	85,1	13,23		0,4	40,43
Мазут зольный	40 или 100	вид III	0,5	0,12	1,2	84,5	13,13		0,55	40,16
Мазут зольный	40 или 100	вид IV	0,7	0,12	1,8	83,7	13,08		0,6	39,90
Мазут зольный	40 или 100	вид V	1,0	0,12	2,2	83,0	12,98		0,7	39,60
Мазут зольный	40 или 100	вид VI	1,0	0,12	2,7	82,5	12,88		0,8	39,32
Дизельное топливо		вид I		0,1	0,15	83,3	16,2		0,25	42,71
Дизельное топливо		вид II		0,1	0,4	83,3	15,9		0,3	42,44
Печное бытовое топливо		вид А		0,02	0,03	84,3	15,5		0,15	42,35
Печное бытовое топливо		вид В		0,02	0,04	84,3	15,46		0,18	42,30
Печное бытовое топливо		вид С		0,02	0,07	84,3	15,4		0,21	42,25
Печное бытовое топливо				0,02	0,4	84,3	15,0		0,28	41,88
Печное бытовое топливо				0,02	1,0	84,3	14,3		0,38	41,25
Брикеты торфяные	Из верхового торфа		15	5	0,1	47,1	5,4	0,8	26,6	17,37
	Из низинного торфа		15	9	0,2	44,9	5,1	1,2	24,6	16,59
	С гречишными из низинного торфа		15	11	0,1	37,6	6,6	2,2	27,5	15,39
	С древесными опилками из низинного торфа		15	6,5	0,1	44,0	6,3	1	27,1	17,20
	С лигнином из низинного торфа		20	15	0,4	38,8	6,1	1	18,7	16,11

Продолжение таблицы А1

Наименование топлива	Марка	Класс или вид	Объемы воздуха и продуктов сгорания м <sup>3</sup> /кг, t = 0°C, P=101,3 кПа						Отношение объема сухих и влажных продуктов сгорания k	Предельные значения, %	
			$V_B^O$	$V_{RO2}$	$V_{N2}^O$	$V_{H2O}^{1,4}$	$V_{dry}^{1,4}$	$V_{damp}^{1,4}$		$W^r$	$A^d$
Эстон-сланец	сланец	0-300 мм	2,41	0,38	1,90	0,49	3,25	3,74	0,87	–	–
Ленинград-сланец	сланец	0-300 мм	2,08	0,33	1,64	0,43	2,81	3,24	0,87	–	–
Кашпирское мес-не	сланец	0-300 мм	1,29	0,22	1,02	0,36	1,76	2,12	0,83	–	–
Мазут малозольный	40 или 100	вид I	11,19	1,61	8,84	1,69	14,92	16,61	0,90	1,0	0,05
Мазут малозольный	40 или 100	вид II	11,16	1,60	8,82	1,70	14,89	16,58	0,90	1,0	0,05
Мазут малозольный	40 или 100	вид III	11,11	1,59	8,78	1,70	14,82	16,52	0,90	1,0	0,05
Мазут малозольный	40 или 100	вид IV	11,07	1,58	8,74	1,71	14,75	16,46	0,90	1,0	0,05
Мазут малозольный	40 или 100	вид V	11,04	1,57	8,72	1,73	14,70	16,43	0,89	1,0	0,05
Мазут малозольный	40 или 100	вид VI	10,96	1,56	8,66	1,72	14,60	16,32	0,89	1,0	0,05
Мазут зольный	40 или 100	вид I	11,22	1,60	8,87	1,72	14,96	16,69	0,90	1,0	0,14
Мазут зольный	40 или 100	вид II	11,17	1,59	8,83	1,72	14,89	16,61	0,90	1,0	0,14
Мазут зольный	40 или 100	вид III	11,10	1,59	8,77	1,71	14,79	16,51	0,90	1,0	0,14
Мазут зольный	40 или 100	вид IV	11,03	1,57	8,71	1,71	14,70	16,41	0,90	1,0	0,14
Мазут зольный	40 или 100	вид V	10,95	1,56	8,65	1,70	14,60	16,30	0,90	1,0	0,14
Мазут зольный	40 или 100	вид VI	10,88	1,55	8,59	1,69	14,50	16,19	0,90	1,0	0,14
Дизельное топливо		вид I	11,78	1,56	9,30	2,06	15,57	17,64	0,88	–	0,1
Дизельное топливо		вид II	11,71	1,56	9,25	2,03	15,49	17,52	0,88	–	0,1
Печное бытовое топливо		вид А	11,68	1,57	9,23	1,98	15,47	17,46	0,89	–	0,02
Печное бытовое топливо		вид В	11,67	1,57	9,22	1,98	15,46	17,44	0,89	–	0,02
Печное бытовое топливо		вид С	11,65	1,57	9,21	1,97	15,44	17,42	0,89	–	0,02
Печное бытовое топливо			11,56	1,58	9,13	1,93	15,33	17,26	0,89	–	0,02
Печное бытовое топливо			11,39	1,58	9,00	1,84	15,13	16,98	0,89	–	0,02
Брикеты торфяные	Из верхового торфа		4,78	0,88	3,78	0,89	6,58	7,47	0,88	22,0	23,0
	Из низинного торфа		4,58	0,84	3,62	0,86	6,29	7,15	0,88	22,0	23,0
	С гречишными из низинного торфа		4,22	0,70	3,35	1,01	5,74	6,75	0,85	18,0	13,5
	С древесными опилками из низинного торфа		4,73	0,82	3,74	0,99	6,45	7,45	0,87	22,0	16,4
	С лигнином из низинного торфа		4,50	0,73	3,56	1,03	6,08	7,11	0,86	22,0	20,0

Продолжение таблицы А1

Наименование топлива	Марка	Класс или вид	Состав рабочей массы топлива, %						Низшая рабочая теплота сгорания $Q_i^r$ , МДж/кг	
			$W_t^r$	$A^r$	$S_{o-k}^r$	$C^r$	$H^r$	$N^r$		$O^r$
Горф кусковой верховой			33,0	4	0,1	37,7	4,3	1	19,9	14,24
Горф фрезерный верховой			45,0	5	0,2	30	8	0,8	11	15,31
Горф фрезерный низинный			45,0	9	0,3	29,4	7,9	1,4	7	15,45
Отходы древесные для топливных нужд	Кора, кородревесные остатки		40	3,5	0,1	33,75	3,62	0,49	18,54	11,56
	Щепа из малоплотной древесины		40	3	0,1	34,04	3,66	0,49	18,71	11,68
	Щепа из среднеплотной древесины		40	3	0,1	33,62	3,64	0,49	19,15	11,48
	Древесные отходы, обрезки		40	0,6	0,05	32,77	3,69	0,36	22,53	10,90
Топливо энергетическое из быстрорастущей древесины для топливных нужд			40	2,7	0	27,9	3,4	0,5	25,5	10,55
Древесина дровяная для топливных нужд	Хвойные		40	0,6	0,05	30,8	3,65	0,36	24,54	10,01
	Лиственные малоплотные		40	0,6	0,05	31,01	3,76	0,36	24,22	10,22
	Лиственные среднеплотные		40	0,6	0,05	31,96	3,61	0,36	23,42	10,47
	Смешанные		40	0,6	0,05	31,21	3,68	0,36	24,1	10,22
Древесные стружки, опилки для топливных нужд			40	0,6	0,05	31,52	3,65	0,36	23,82	10,32
Костра для топливных нужд			15	2,5	0,15	42,36	4,86	0,49	34,64	14,49
Отходы сельскохозяйственного производства, в том числе солома для топливных нужд			15	3	0,1	41,14	4,99	0,49	35,28	14,15
Деревянные шпалы для топливных нужд			30	1,2	0,15	34,64	3,85	0,3	29,86	9,9
Брикеты лигнинные			20	15	0,3	42,06	3,93	1,14	17,57	15,14
Лигнин исправленный площадка по ул. Ленина, г. Бобруйск			65	3,7	0,6	17,33	1,9	0,06	11,41	4,78
Лигнин исправленный полигон Титовка, г. Бобруйск			60	3,5	0,12	20,14	2,31	0,05	13,88	5,90

Окончание таблицы А1

Наименование топлива	Марка	Класс или вид	Объемы воздуха и продуктов сгорания м <sup>3</sup> /кг, t = 0°C, P=101,3 кПа						Отношение объема сухих и влажных продуктов сгорания k	Предельные значения, %	
			$V_B^O$	$V_{RO2}$	$V_{N2}^O$	$V_{H2O}^{1,4}$	$V_{dry}^{1,4}$	$V_{damp}^{1,4}$		$W^*$	$A^d$
Горф кусковой верховой			3,87	0,70	3,06	0,97	5,32	6,29	0,85	40,0	23,0
Горф фрезерный верховой			4,46	0,56	3,53	1,55	5,87	7,42	0,79	52,0	23,0
Горф фрезерный низинный			4,51	0,55	3,58	1,54	5,93	7,47	0,79	52,0	23,0
Отходы древесные для топливных нужд	Кора, кородревесные остатки		3,38	0,63	2,67	0,97	4,66	5,63	0,83	40,0	3,5
	Щепа из малоплотной древесины		3,41	0,64	2,70	0,98	4,70	5,68	0,83	40,0	3,0
	Щепа из среднеплотной древесины		3,35	0,63	2,65	0,98	4,62	5,60	0,83	40,0	3,0
	Древесные отходы, обрезки		3,18	0,61	2,51	0,98	4,39	5,37	0,82	40,0	1,5
Топливо энергетическое из быстрорастущей древесины для топливных нужд			2,56	0,52	2,03	0,93	3,57	4,50	0,79	40,0	2,7
Древесина дровяная для топливных нужд	Хвойные		2,92	0,58	2,31	0,97	4,05	5,02	0,81	40,0	1,5
	Лиственные малоплотные		2,98	0,58	2,36	0,98	4,13	5,11	0,81	40,0	1,5
	Лиственные среднеплотные		3,05	0,60	2,41	0,97	4,23	5,20	0,81	40,0	1,5
	Смешанные		2,98	0,58	2,36	0,97	4,13	5,10	0,81	40,0	1,5
Древесные стружки, опилки для топливных нужд			3,01	0,59	2,38	0,97	4,17	5,14	0,81	40,0	1,0
Костра для топливных нужд			3,95	0,79	3,12	0,81	5,49	6,31	0,87	25,0	3,0
Отходы сельскохозяйственного производства, в том числе солома для топливных нужд			3,85	0,77	3,04	0,83	5,35	6,18	0,87	25,0	3,0
Деревянные шпалы для топливных нужд			3,15	0,65	2,49	0,87	4,39	5,26	0,83	30,0	1,5
Брикеты лигнинные			4,25	0,79	3,36	0,78	5,85	6,63	0,88	22,0	20,0
Лигнин исправленный площадка по ул. Ленина, г. Бобруйск			1,70	0,33	1,34	1,06	2,35	3,41	0,69	75,0	8,0
Лигнин исправленный полигон Титовка, г. Бобруйск			1,96	0,38	1,55	1,04	2,71	3,76	0,72	65,0	8,0

Таблица А2 – Расчетные характеристики газообразных топлив (ТКП 17.08-01-2006)

Газопровод	Концентрация водяных паров, г/м <sup>3</sup> (об. %)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Низшая теплота сгорания, $Q_i^r$ , МДж/м <sup>3</sup>	Содержание компонентов, объемная доля, %							
				CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	CO	N <sub>2</sub>
Торжок – Минск – Ивацевичи	0,0489	0,6820	33,53	98,043	0,799	0,206	0,070	0,014	0,006	0,033	0,821
Торжок – Долина	0,0457	0,6807	33,51	98,120	0,740	0,201	0,073	0,012	0,003	0,032	0,812

Окончание таблицы А2

Газопровод	Концентрация водяных паров, г/м <sup>3</sup> (об. %)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Объемы воздуха и продуктов сгорания м <sup>3</sup> /кг, t = 0°C, P=101,3 кПа						Отношение объема сухих и влажных продуктов сгорания
			$V_B^O$	$V_{RO2}$	$V_{N_2}^O$	$V_{H_2O}^{1,4}$	$V_{dry}^{1,4}$	$V_{damp}^{1,4}$	
Торжок – Минск – Ивацевичи	0,0489	0,6820	9,54	1,01	7,55	2,21	12,37	14,58	0,85
Торжок – Долина	0,0457	0,6807	9,54	1,01	7,55	2,21	12,37	14,58	0,85

## Приложение Б

ТКП 17.08-01-2006

### Приложение Б (справочное)

**Б.1** Значения коэффициентов для основных газообразных загрязняющих веществ, содержащихся в выбрасываемых в атмосферный воздух дымовых газах:

$$D_{CO} = 1,25 \text{ мг/м}^3$$

$$D_{NO} = 1,34 \text{ мг/м}^3$$

$$D_{NO_2} = 2,05 \text{ мг/м}^3$$

$$D_{SO_2} = 2,86 \text{ мг/м}^3$$

**Таблица Б.2** – Значения коэффициентов, учитывающих влияние рециркуляции дымовых газов через горелки и ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру на образование азота оксидов:

	Коэффициент $\beta_r$ , учитывающий влияние рециркуляции дымовых газов через горелки		Коэффициент $\beta_{\delta}$ , учитывающий ступенчатый ввод воздуха в топочную камеру		Коэффициент $\beta_p$ при сжигании твердых топлив
	газообразное топливо	жидкое топливо	газообразное топливо	жидкое топливо	
Котлы не оснащены системой рециркуляции дымовых газов и (или) ступенчатым вводом воздуха	1	1	1	1	1
Котлы оснащены системой рециркуляции дымовых газов и (или) ступенчатым вводом воздуха	$1-0,16 \cdot \sqrt{r}$	$1-0,17 \cdot \sqrt{r}$	$1-0,022 \cdot \delta$	$1-0,018 \cdot \delta$	$1-0,075 \cdot \sqrt{r}$
Примечание – $r$ – степень рециркуляции дымовых газов, %, $\delta$ – доля воздуха, подаваемого в промежуточную зону факела, %					

**Таблица Б.3** – Значения парциального давления водяных паров на линии насыщения в зависимости от температуры окружающего воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$P_{H_2O}, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_{H_2O}, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$P_{H_2O}, \text{кПа}$
0	0,611	11	1,313	22	2,645
1	0,657	12	1,403	23	2,811
2	0,706	13	1,498	24	2,986
3	0,758	14	1,599	25	3,170
4	0,813	15	1,705	26	3,364
5	0,872	16	1,818	27	3,564
6	0,935	17	1,938	28	3,779
7	1,002	18	2,065	29	4,004
8	1,073	19	2,198	30	4,241
9	1,148	20	2,339	31	4,491
10	1,228	21	2,488	32	4,753

## Приложение В

ТКП 17.08-01-2006

### Приложение В (справочное)

**Таблица В.1** – Значения  $q_4$ ,  $\alpha_{ab}$ ,  $q_{ab}$  для различных топок и топлив

Вид топок	Топливо	$q_4$ , %	$\alpha_{ab}$	$q_{ab}$	
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой прямого хода	Каменные угли типа Донецкого	6,5	0,17	5,5	
	Каменные угли типа Кузнецкого	4,0	0,20	3,0	
	Донецкий антрацит	11,0	0,10	8,5	
	Кузнецкий антрацит	9,5	0,10	4,0	
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой обратного хода	Каменные угли типа Донецкого	7,0	0,15	4,0	
	Каменные угли типа Кузнецкого	6,5	0,15	4,0	
	Бурые угли типа Азейского	7,5	0,15	4,5	
	Бурые угли типа Артемовского	5,5	0,19	2,5	
	Бурые угли типа Подмосковского	7,0	0,11	2,5	
	Бурые угли типа Ирша-Бородинского	4,5	0,50	2,0	
	Бурые угли типа Назаровского	5,0	0,50	2,0	
Топки с пневмомеханическими забрасывателями и решеткой с поворотными колосниками	Каменные угли типа Донецкого	8,0	0,15	6,0	
	Каменные угли типа Кузнецкого	6,5	0,20	5,5	
	Бурые угли типа Ирша-Бородинского	5,0	0,20	3,0	
	Бурые угли типа Азейского	6,5	0,20	3,0	
Камерные топки с твердым шлакоудалением	Каменные угли	1,5	0,95	1,0	
	Бурые угли	2,0	0,95	1,5	
	Фрезерный торф	2,5	0,95	1,0	
	Сланец	0,5	0,95	0,2	
Камерные топки с жидким шлакоудалением	Каменные угли	0,5	0,8	0,2	
	Бурые угли	0,3	0,7	0,1	
Камерные топки	Мазут, нефть	0,1	0,05	0,02	
	Дизельное, печное бытовое	0,08	0,045	0,02	
	Газ (природный, попутный)	0	0	0	
	Доменный газ	0	0	0	
Топки шахтные, шахтно-цепные, скоростного горения	Торф кусковой, фрезерный верховой	2,5	0,08	1,5	
	Торф фрезерный низинный	4,5	0,08	2,0	
	Торфяные брикеты из верхового торфа	3,0	0,06	1,5	
	Торфяные брикеты из низинного торфа (с гречишными, с древесными опилками)	5,0	0,06	2,0	
	Торфяные брикеты с лигнином из низинного торфа	7,0	0,10	2,0	
	Щепа, кородревесные остатки	4,0	0,15	2,5	
	Дрова	4,0	0,2	1,0	
	Древесные отходы, обрезки	4,0	0,2	1,2	
	Опилки, стружки	1,5	0,2	0,7	
	Костра, солома	2,0	0,25	0,5	
	Лигнинные брикеты	6,0	0,10	2,5	
	Лигнин исправленный	7,0	0,15	2,5	
	Слоевые топки бытовых теплогенераторов	Дрова	2,5	0,025	0,2
		Биомасса	2,5	0,05	0,5
Газогенераторы	Биомасса	2,0	0,06	0,5	
Котлы с кипящим слоем	Биомасса	2,0	0,06	0,5	

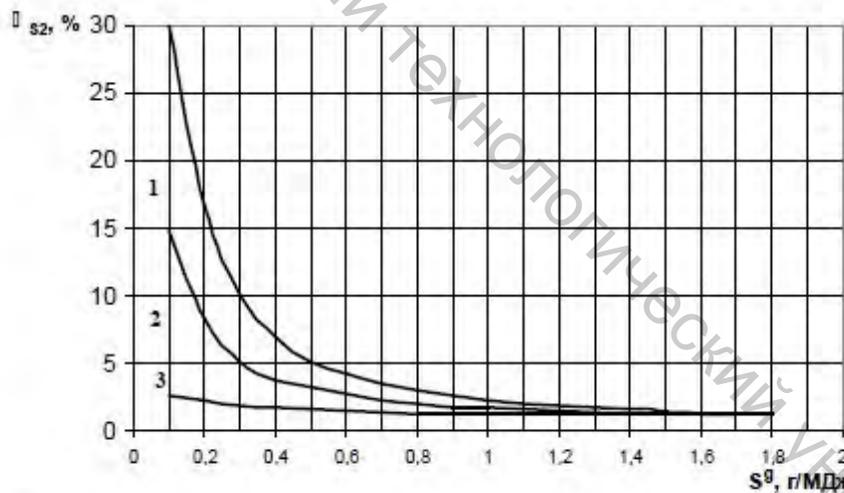
## Приложение Г

ТКП 17.08-01-2006

### Приложение Г (справочное)

Г.1 Значения  $\eta_{s1}$  (доля серы оксидов, связываемых летучей золой в котле) при сжигании различных видов топлива составляют:

торф .....	0,25
лигнин.....	0,27
сланцы эстонские и ленинградские.....	0,8
бурый уголь марки 1Б.....	0,2
бурый уголь марки 2Б.....	0,5
бурый уголь марки 3Б.....	0,65
каменный уголь марки Д.....	0,1
каменный уголь марки Г.....	0,08
каменный уголь марки Ж.....	0,16
каменный уголь марки Т.....	0,14
каменный уголь марки А (антрацит).....	0,12
дрова.....	0,69
древесные отходы, обрезки.....	0,63
щепы, кородревесные остатки.....	0,58
опилки, стружки, костра, солома.....	0,55
мазут.....	0,02
газ.....	0



$$S^g = \frac{10 \cdot S_{o+k}^r}{Q_i} \quad (\text{Г.1})$$

где  $S_{o+k}^r$  - содержание серы (органической и колчеданной) в рабочей массе топлива, %;

$Q_i$  - низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Щелочность орошающей воды: график 1 - 10 мг-экв./дм<sup>3</sup>

график 2 - 5 мг-экв./дм<sup>3</sup>

график 3 - 0 мг-экв./дм<sup>3</sup>

**Рисунок Г.2** – Степень улавливания серы оксидов в мокрых золоуловителях в зависимости от приведенной сернистости топлива и щелочности орошающей воды

## Приложение Д

Таблица Д.1 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, эквивалентные по энергии, и максимальные уровни звука проникающего шума в помещения жилых и общественных зданий и шума на территории жилой застройки

№ п/п	Назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные по энергии уровни звука непостоянного шума, дБА	Максимальные уровни звука, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Палаты больничных организаций и санаториев, операционные больницы	С 7 до 23 часов	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
		С 23 до 7 часов	69	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
2	Кабинеты специалистов поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больничных организаций, санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
3	Кабинеты, лаборатории, мастерские и иные учебные объекты в учреждениях образования, конференц-залы, читальные залы библиотек		79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
4	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в учреждениях дошкольного образования и специального образования	С 7 до 23 часов	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		С 23 до 7 часов	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
5	Номера гостиниц и жилые комнаты общежитий	С 7 до 23 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		С 23 до 7 часов	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50

Окончание таблицы Д.1

6	Залы кафе, ресторанов, столовых		90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
7	Торговые залы магазинов, пассажирские залы аэропортов и вокзалов, приемные пункты предприятий бытового обслуживания		93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
8	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больничных организаций и санаториев	С 7 до 23 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		С 23 до 7 часов	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
9	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, учреждений образования, библиотек	С 7 до 23 часов	90	75	66	59	54	50	47	45	43	55	70
		С 23 до 7 часов	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
10	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	С 7 до 23 часов	93	79	70	63	59	55	53	51	49	60	75
		С 23 до 7 часов	86	71	61	54	49	45	42	40	39	50	65
11	Площадки отдыха на территории больничных организаций и санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
12	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки учреждений образования		83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60

Учебное издание

## ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Методические указания к практическим занятиям

Составители:

Гречаников Александр Викторович

Тимонов Иван Афанасьевич

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *А.В. Пухальская*

Компьютерная верстка *В.А. Слюборова*

---

Подписано к печати 09.03.2020. Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. листов 3,8.  
Уч.-изд. листов 4,8. Тираж 40 экз. Заказ № 83.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»  
210038, Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.