

Міністерство освіти і науки України  
Національний гірничий університет

# **Практичні завдання**

з дисципліни  
«Екологічні характеристики міст»

Дніпро  
2016

# Практическая работа №1

## Тема: Токсикометрия

Цель: научиться определять суммарную эмиссию токсикантов и годность продуктов питания

Задания:

1. При сжигании угля на ТЭЦ и на мусоросжигательном заводе с золой происходит значительный выброс ТМ (Таблица 3). Используя исходные данные (Таблица 1), оцените суммарную эмиссию токсикантов по трем классам опасности (Таблица 2) за расчетный период.

2. В сертифицированной лаборатории, определяющей качество продуктов питания, получены следующие данные по содержанию тяжелых металлов в пересчете на 100 г навески. Охарактеризуйте наличие ТМ с точки зрения допустимости употребления продуктов человеком, используя сведения о ПДК (Таблица 5).

Исходные данные для задания 1:

Таблица 1. Исходные данные для задания 1.

Показатели	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расчетный период, t, мес	6	5	6	5	4	6	3	5	6	3
Расход угля на ТЭЦ, m <sub>1</sub> , тыс.т/сут	7	6,5	5	5,5	6	7,5	7	5,5	6	6,5
Масса сжигаемого мусора, m <sub>2</sub> , т/сут	1,8	2	1,5	1,7	1,9	2	1,8	1,5	1,4	1,7

Таблица 2 Классы опасности веществ

Класс опасности	Химическое вещество
I	Мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор, бенз(а)пирен
II	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофен

Таблица 3. Удельный выброс тяжелых металлов с золой (q) при сжигании угля на ТЭЦ и мусора, мг/кг топлива

Металл	Мусоросжигательный завод	Угольная электростанция
Мышьяк	180	490
Барий	2100	1900
Бериллий	4	30
Кадмий	500	30
Хром	650	370
Кобальт	140	40
Медь	1450	300
Свинец	20000	2100
Ртуть	130	5
Стронций	290	1800
Ванадий	160	850
Цинк	48000	2800

Указания к выполнению задания 1.

1. Рассчитайте количество токсикантов (кг) по группам опасности при работе ТЭЦ:

$$M_{1i} = 30 q_{1i} m_1 t$$

где  $q_{1i}$  – удельный выброс  $i$ -го металла, мг/кг топлива;

$m_1$  - расход угля на ТЭЦ, т/сут;

$t$  - расчетный период, мес.

2. Рассчитайте количество токсикантов (кг) по группам опасности при работе мусоросжигательного завода:

$$M_{2i} = 30 q_{2i} m_2 t$$

где  $q_{2i}$  – удельный выброс  $i$ -го металла, мг/кг топлива;

$m_2$  - масса сжигаемого мусора, т/сут;

$t$  - расчетный период, мес.

3. Определите количество образовавшихся за год при сжигании мусора шлаков, если известно, что из 3,5 т мусора получается 1 т шлаков. Количество дней работы мусоросжигательного завода – 320.

4. Сделайте выводы.

Исходные данные для задания 2:

Таблица 4. Исходные данные для задания 2.

Токси- канти	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pb	0.05	0.02	0.05	0.2	0.01	0.03	0.8	0.03	0.07	0.2
Cd	0.01	0.005	0.01	0.05	0.002	0.001	0.3	0.004	0.01	0.1
As	0.4	0.01	0.06	0.06	0.008	0.01	0.05	0.008	0.005	0.05
Hg	0.1	0.001	0.002	0.04	0.005	0.001	0.05	0.002	0.003	0.05
Cu	0.7	0.8	0.05	6	0.07	0.4	25	0.3	1	5
Zn	3	3	0.2	10	5	0.8	15	5	10	15
Продукты	рыба, море- продук-ты	крупа	сахар- песок	шоко- лад	моло- ко	овощи свеж.	чай	мясо	колба- са варен.	почки

Указания к выполнению задания 2:

1. Обратите внимание на то, что значения ПДК приведены в пересчете на кг продукта.
2. Превышение значений ПДК даже по одному из элементов является основанием для признания продуктов бракованными.
3. Почему для различных продуктов питания применяются разные значения ПДК?
4. Написать содержательный вывод.

Таблица 5 Предельно-допустимые концентрации тяжелых металлов в продовольственном сырье и продуктах, мг/кг

Пищевые продукты	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Медь	Цинк
Хлебобулочные и кондитерские изделия						
Зерновые	0.5	0.1	0.2	0.03	10	50
Зернобобовые	0.5	0.1	0.3	0.02	10	50
Крупы	0.5	0.1	0.2	0.03	10	50
Мука, кондитерские изделия	0.5	0.1	0.2	0.02	10	50
Хлеб	0.3	0.05	0.1	0.01	5	25
Бараночные и сухарные изделия	0.5	0.1	0.2	0.02	10	30
Отруби пшеничные	1	0.1	0.2	0.03	20	130
Соль поваренная	2	0.1	1	0.01	3	10
Крахмал	0.5	0.1	0.1	0.02	10	30
Сахар-песок	1	0.05	0.5	0.01	1	3
Пектин	1	0.1	0.5	0.1	10	30
Желатин	2	0.03	1	0.05	15	100
Орех (ядро)	0.5	0.1	0.3	0.03	20	50
Конфеты	1	0.1	0.5	0.01	15	30
Какао-порошок и шоколад	1	0.5	1	0.1	50	70
Печенье	0.5	0.1	0.3	0.02	10	30

Пищевые продукты	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Медь	Цинк
<b>Молочные изделия</b>						
Молоко, кисломолочные изделия	0.05	0.03	0.05	0.05	1	5
Молоко консервированное	0.3	0.1	0.15	0.015	3	15
Молоко сухое	0.05	0.03	0.05	0.005	1	5
Сыры, творог	0.3	0.2	0.2	0.03	4	50
Масло сливочное, жиры животные	0.1	0.03	0.1	0.03	0.5	5
Казеин	0.3	0.2			4	50
<b>Растительные продукты</b>						
Масло растительное	0.1	0.05	0.1	0.05	1	5
Маргарин и кулинарные жиры	0.1	0.05	0.1	0.05	5	10
Овощи свежие	0.5	0.03	0.2	0.02	5	10
Фрукты, ягоды	0.4	0.03	0.2	0.02	10	10
Грибы	0.5	0.1	0.5	0.05		20
Чай	10	1	1	0.1	100	10
Консервы овощные в стеклянной таре	0.5	0.03	0.2	0.02	5	10
Консервы овощные в металлической таре	0.4	0.03	0.2	0.02	5	10
Консервы фруктовые, ягодные и соки в стеклянной таре	1	0.05	0.2	0.02	5	10
Консервы фруктовые, ягодные и соки в металлической таре	0.5	0.03	0.2	0.02	5	10
Овощи сушеные	0.5	0.03	0.2	0.02	5	10
Фрукты и ягоды сушеные	0.4	0.03	0.2	0.02	5	10
Специи и пряности	5	0.2	5			
<b>Мясные продукты</b>						
Мясо и птица (свежие и мороженые)	0.5	0.05	0.1	0.03	5	70
Колбасы вареные	0.5	0.05	0.1	0.03	5	70
Консервы из мяса и птицы в стеклянной, алюминиевой и цельнотянутой жестяной таре	0.5	0.05	0.1	0.03	5	70
Консервы из мяса и птицы в сборной жестяной таре	2	0.1	0.1	0.03	5	70
Почки и продукты их переработки	1	1	1	0.2	20	100
Яйца	0.3	0.01	0.1	0.02	3	50
Яичный порошок	3	0.1	0.5	0.1	15	200
<b>Рыбные продукты</b>						
Рыба свежая и мороженая пресноводная:						
Хищная						
Нехищная	1	0.2	1	0.6	10	40
	1	0.2	1	0.3	10	40
Рыба свежая и мороженая морская	1	0.2	5	0.4	10	40
Рыба тунцовая свежая	2	0.2	5	0.7	10	40
Рыба консервированная в стеклянной таре:						
Пресноводная	1	0.2	1	0.3	10	40
Морская	1	0.2	5	0.4	10	40
Тунцовая	2	0.2	5	0.7	10	40

## Практическая работа №2

### Тема: Тяжелые металлы

**Цель:** научиться рассчитывать суммарный показатель загрязнения почв тяжелыми металлами.

#### Задача.

1. Рассчитать суммарный показатель загрязнения почв тяжелыми металлами в городах.
2. Построить спектр загрязнения почв.
3. Описать климат, расположение, полезные ископаемые и предприятия города.
4. Написать содержательный вывод.

#### Исходные данные:

№ п/п	Город	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
1	Днепр	42	791	27913	11	16	29	126	1	27
2	Каменское	48	1563	55033	13	22	44	177	2	45
3	Кривой Рог	48	733	62675	14	48	17	85	6	21
4	Никополь	48	8280	24300	13	20	19	75	1	19
5	Марганец	48	1062	24248	12	18	18	73	1	18
6	Желтые воды	52	723	57817	14	15	285	68	12	20
7	Покров	48	1284	22238	12	17	18	74	1	17
8	Павлоград	48	654	32624	11	36	24	76	3	21
9	Терновка	48	540	28858	10	21	22	68	2	18
10	Новомосковск	48	712	33286	12	28	29	111	1	25
	Фон	30	600	22000	9	10	20	30	1	10

Указания к выполнению работы:

1. Рассчитать коэффициент загрязнения почв тяжелыми металлами.

$$K = X_{mei} / X_{\phi i}, \text{ где}$$

$K$  – коэффициент загрязнения почв;

$X_{mei}$  – количество  $i$ -го металла в почве города, мг/кг;

$X_{\phi i}$  – фоновое количество металла в почве, мг/кг.

2. Рассчитать суммарный показатель загрязнения почв тяжелыми металлами в городе:

$$Z_c = (\sum K) + (n - 1),$$

где  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения почв в городе;

$\sum K$  – сумма всех коэффициентов загрязнения почв тяжелыми металлами больше 1;

$n$  – количество металлов, коэффициент которых больше 1.



Назва показника	Ум. позн.	Од. вимір.	Значення по варіантах									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4									
Тривалість відстоювання у відповідних шарах, при якій досягається необхідний ефект очистки	$t_1$	с	155	135	120	140	160	155	140	120	250	135
	$t_2$	с	360	320	285	340	420	360	340	285	500	320
Концентрація завислих речовин: до очистки після очистки	$C_{зр}^1$	мг/л	180	165	172	140	158	188	175	163	154	147
	$C_{зр}^2$	мг/л	55	48	50	35	42	63	52	45	40	37

Виконання роботи:

1. Знайти коефіцієнт пропорційності ( $n$ ), що залежить від агломерування завислих речовин у процесі осадження

$$n = \frac{\lg t_1 - \lg t_2}{\lg h_1 - \lg h_2},$$

де  $h_1$  і  $h_2$  - висота шарів відстоювання в лабораторних умовах, мм;

$t_1$  і  $t_2$  - тривалість відстоювання у відповідних шарах, при якій досягається необхідний ефект відстоювання, с.

2. Визначимо гідравлічну крупність часток

$$u_0 = \frac{1000HK}{t_1(HK/h_1)^n} \quad \text{мм/с},$$

де  $H$  - глибина проточної частини у відстійнику, м;

$K$  - коефіцієнт використання об'єму відстійника;

$t_1$  - тривалість відстоювання в лабораторному циліндрі при висоті шару  $h_1$ , протягом якого досягається необхідний ефект освітлення

3. Пропускна здатність відстійника дорівнює

$$Q_1 = 3,6 \cdot K \cdot H \cdot B \cdot v \quad \text{м}^3 / \text{год}$$

Пропускна здатність відстійника відповідає проектним і фактичним показникам припливу стічних вод.

4. Знаходимо довжину горизонтального відстійника

$$L = \frac{vH}{K(u_0 - \omega)} = \frac{10 \cdot 3}{0,5 \cdot (3,74 - 0,05)} = \frac{30}{0,5 \cdot 3,69} = 16,26 \text{ м}$$

Примітка:  $\omega = 0$  при  $v = 5$  мм/с;  $\omega = 0,05$  при  $v = 10$  мм/с.

5. Ефективність механічної очистки в первинних горизонтальних відстійниках розраховуємо як різницю концентрацій завислих речовин у стічній воді до і після очисного спорудження

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_2}$$



## Задача №2. Фільтрація

Розрахувати основні параметри фільтра глибокої очистки стічних вод (загальна площа фільтрування, розрахункова швидкість фільтрування, кількість фільтрів) при середньому припливі 120 м<sup>3</sup>/год.

Вихідні дані:

Назва показника	Ум. позн.	Од. вимір.	Значення по варіантах									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4									
Розрахункові витрати на спорудах і глибокої очистки стічних вод	$Q$	м <sup>3</sup> /год	150	90	125	135	140	100	98	130	155	110
Кількість промивок одного фільтра на добу	$n$	шт.	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Тривалість простою одного фільтра протягом промивання	$t$	год	0,5	0,95	1,1	0,75	0,85	0,98	0,6	1,2	0,68	0,7
Швидкість форсованого фільтрування при найбільшому припливі води	$v_{\phi}$	м/год	10	13	8	14	9	11	8	10	15	11
Загальна кількість фільтрів	$N$	шт.	5	15	25	30	14	18	22	13	4	2
Концентрація завислих речовин:												
до очистки	$C_{зав}^1$	мг/л	40	39	50	60	40	39	50	60	40	39
після очистки	$C_{зав}^2$	мг/л	10	8	15	10	10	8	15	10	10	8

Виконання роботи:

1. Розрахункові витрати стічних вод дорівнюють

$$Q_p = Q \cdot 24, \text{ м}^3 / \text{год}$$

Загальні циркуляційні витрати

$$Q_{\text{ц}} = 0,025 \cdot Q_p \text{ м}^3 / \text{год}$$

2. Розрахункова швидкість фільтрування

$$v_p = \frac{v_{\phi} \cdot (N - m)}{N} \text{ м} / \text{год},$$

де  $N$  - опальна кількість фільтрів;

$m$  - кількість фільтрів, що знаходяться в ремонті (при  $N > 20$ ,  $m = 3$ ; при  $N < 20$ ,  $m = 2$ );

$v_{\phi}$  - швидкість фільтрування при форсованому режимі, тобто при максимальній подачі води і вимиканні частини фільтрів на ремонт, м/год.

3. Загальна площа фільтрів

$$F = \frac{(Q_p + Q_{\text{ц}})}{24 \cdot v_p - n \cdot v_p \cdot t} \text{ м}^2$$

де  $Q_p$  - розрахункові витрати стічних вод на спорудах глибокої очистки, м<sup>3</sup>/год;

$Q_u$  - загальні циркуляційні витрати, у тому числі витрати води на промивку фільтрів, барабанних сіток і скидання першого фільтрату, м<sup>3</sup>/год (для орієнтованих розрахунків слід приймати  $Q_u = 0,025Q_p$  при  $n = 1$ , і  $Q_u = 0,05Q_p$  при  $n = 2$ );

$n$  - кількість промивок одного фільтра на добу;

$t$  - тривалість простою одного фільтра під час промивання, год;

$v_p$  - розрахункова швидкість фільтрування, м/год,

4. Визначаємо діаметр фільтра

$$F' = F / Nm; \quad F' = \frac{\pi D^3}{4};$$

де  $F'$  – площа одного фільтра, м<sup>2</sup>;

$N$  – кількість фільтрів.

5. Ефективність тонкої механічної очистки на фільтрах розраховуємо як різницю концентрацій завислих речовин у вихідній та очищеній воді

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_2}.$$

Вихідні дані для задачі №2

### Задача №3. Расчет степени разбавления сточных вод для первого и второго вариантов системы водоснабжения

Для расчета разбавления в средних реках наибольшее распространение получил метод Фролова-Родзиллера.

Согласно этому методу коэффициент смешения определен по формуле

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}{1 + \frac{Q_p}{Q_{ст.вод}} e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}},$$

где  $Q_p$  - расход воды в створе реки у места выпуска сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{ст.вод}$  - расход сточных вод, сбрасываемых в водоисточник (по заданию), м<sup>3</sup>/сут,

$L$  - длина русла от места выпуска сточных вод до следующего водозабора (по заданию), км;

$\alpha$  - коэффициент, зависящий от гидравлических условий смешения.

На рис. 4 представлена схема к расчету необходимой степени разбавления.

Коэффициент  $\alpha$  вычисляют по формуле

$$\alpha = \xi \varphi \sqrt{\frac{E}{Q_{ст.вод}}},$$

где  $\xi$  - коэффициент, учитывающий место расположения выпуска, для берегового выпуска  $\xi = 1,0$ , для руслового  $\xi = 1,1$ ;

$\varphi$  - коэффициент извилистости русла (по заданию);

$E$  - коэффициент турбулентной диффузии, определяют по формуле

$$E = v_{cp} H_{cp} / 200.$$

Здесь  $v_{cp}$  - средняя скорость течения воды в реке на участке между выпуском и расчетным створом, м/с;  $H_{cp}$  - средняя глубина реки на том же участке, м.

Для определения необходимой степени очистки сточных вод перед ее спуском в реку необходимо определить кратность разбавления очистки у ближайшего пункта водопользования. Кратность разбавления определяют по формуле

$$n = \frac{\gamma Q_p + Q_{ст.в}}{Q_{ст.в}}.$$

### Исходные данные

Показатели	Предпоследняя цифра учебного шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Расход сточных вод, сбрасываемых в водоисточник $Q_{ст.вод}$ , м <sup>3</sup> /сут	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000
Расход воды в реке (минимальный) перед водозабором $Q_p$ , м <sup>3</sup> /сут	25	25	25	25	25	30	30	30	30	30
Коэффициент извилистости реки $\varphi$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Средняя скорость течения воды в реке $V_{cp}$ , м/с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Средняя глубина реки $H$ , м	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0
Длина русла от места выпуска сточных вод до следующего водозабора $L$ , км	3,5	3,9	4,3	4,6	4,9	5,4	3,6	4,0	4,4	4,8
Коэффициент, учитывающий место расположения выпуска	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

**Практическая работа №4**  
**Тема: Предельно-допустимый выброс**

**Цель:** научиться рассчитывать предельно-допустимый выброс

**Задачи:**

1. Определить максимальную приземную концентрацию вредного вещества
2. Определить опасное расстояние от источника выброса
3. Определить предельно допустимый выброс вредных веществ в атмосферу.
4. Определить минимальную высоту источника выброса.
5. Написать содержательный вывод

**Исходные данные:**

В таблицах 1, 2 приведены исходные данные для расчета.

Условные обозначения, принятые в таблице:

М - мощность источника,

Н - высота источника,

$t_g$  - температура выброса,

$\omega_0$  - скорость выброса,

Д - размеры устья источника,

ПДК – предельно-допустимая концентрация,

Сф - фоновая концентрация,

$t_v$  - температура окружающей среды.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

	Место расположения источника выброса	М, г/с	Н, м	$\omega_0$ , м/с	Д, м
1	г. Херсон	10	12	2,3	0,4
2	г. Ивано-Франковск	2,4	16	1,7	1,5
3	г. Полтава	0,08	13	4,0	2,0
4	г. Киев	12	26	6,2	0,8
5	г. Днепропетровск	0,6	18	1,8	0,9
6	г. Феодосия	0,7	19	2,1	0,9
7	г. Коростень	9,6	12	1,9	2,1
8	г. Донецк	13,0	13	3,5	2,4
9	г. Львов	2,3	15	4,6	1,0
10	г. Дрогобич	0,8	19	2,0	1,1
11	г. Мелитополь	0,43	23	0,8	1,6
12	г. Шостка	0,35	26	1,9	1,8
13	г. Ковель	4,1	20	2,3	2,4
14	г. Черновцы	0,11	15	5,1	0,6
15	г. Умань	0,08	18	4,9	2,2
16	г. Белая Церковь	0,002	30	4,7	1,6
17	г. Красноармейск	6,5	11	3,3	0,7
18	г. Ужгород	2,8	16	3,0	1,8
19	г. Ровно	2,4	13	6,6	1,4
20	г. Симферополь	0,9	14	7,0	0,9

21	г. Тернополь	1,5	15	8,1	0,6
22	г. Чернигов	0,18	14	2,1	0,6
23	г. Ужгород	0,106	21	2,0	0,8
24	г. Николаев	0,89	19	4,6	0,5
25	г. Коломия	0,0027	16	4,3	1,5
26	г. Севастополь	0,72	14	2,2	0,9
27	г. Черкассы	20,4	13	0,9	0,75
28	г. Житомир	0,0016	22	1,5	0,4
29	г. Луганск	0,75	17	1,3	0,6
30	г. Кировоград	11,0	18	1,8	0,6

Таблица 2 – Исходные данные для расчета

	Выбрасываемое вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Сф, мг/м <sup>3</sup>	tr, °C	tv, °C
1	диоксид азота	0,085	0,005	102	26
2	бензол	1,5	0,02	23	23
3	оксид меди	0,002	0,0004	67	25
4	ацетон	0,35	0,01	26	26
5	кислота серная	0,1	0,006	25	25
6	дихлорэтан	1,0	0,01	72	24
7	фреон	10	0,6	25	25
8	спирт этил.	5,0	1,6	26	26
9	цемент	0,1	0,0002	49	26
10	сероводород	0,008	0,001	23	23
11	сажа	0,05	0,002	84	23
12	капролактам	0,06	0,004	28	28
13	аммиак	0,2	0,01	26	26
14	озон	0,03	0,01	42	28
15	нафталин	0,003	0,001	46	24
16	ртуть	0,0003	0	63	25
17	оксид углерода	1,0	0,7	51	25
18	толуол	0,8	0,6	24	24
19	к-та азотная	0,4	0,001	79	25
20	бромбензол	0,03	0	27	27
21	бензол	1,5	0,5	26	26
22	свинец	0,003	0	90	26
23	фенол	0,01	0,006	105	25
24	окись этилена	0,03	0,001	24	24
25	никель	0,0002	0	76	23
26	гексахлоран	0,03	0,01	23	23
27	бензол	0,8	0,04	25	25
28	оксид меди	0,002	0	80	23
29	взвешенные в-ва	0,05	0,008	26	26

30	спирт метиловый	0,5	0,001	22	22
----	-----------------	-----	-------	----	----

### Указания к выполнению:

#### 1. Определение максимальной приземной концентрации вредного вещества

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>) при выбросе газовой смеси из одиночного источника определяется по формулам /1/ для нагретых выбросов и /2/ для холодных выбросов.

Для нагретых выбросов ( $\Delta T > 0$ ):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (1)$$

Для холодных выбросов ( $\Delta T = 0$ ):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot k}{H^{4/3}} \quad (2)$$

где А- коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы.

Место расположения источника выброса	Коэффициент А
Киевская, Черниговская, Сумская, Житомирская, Волынская и Ровенская области Украины	125
Львовская, Закарпатская, Ивано-Франковская, Тернопольская, Черновицкая, Хмельницкая, Винницкая, Черкасская Полтавская и Харьковская области Украины	120
Кировоградская, Днепропетровская, Донецкая и Луганская области Украины	115
Одесская, Николаевская Херсонская и Запорожская области Украины	110
Автономная республика Крым	105

$M$  (г/с) – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (мощность источника)

$F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере ( $F=1$  для газов и мелкодисперсной пыли);

$m, n, k$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника;

Коэффициент  $m$ :

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

$$\text{где } f = 1000 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (4)$$

$\omega_0$  – скорость выброса, м/с

$D$  – диаметр устья источника, м

$H$  – высота источника, м

$\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси ( $T_r$ ) и температурой окружающего атмосферного воздуха ( $T_b$ ).

Коэффициент  $n$ :

$$n = \begin{cases} 1, & \text{при } V_M \geq 2 \\ 0,532 \cdot V_M^2 - 2,13 \cdot V_M + 3,13, & \text{при } 0,5 \leq V_M < 2 \\ 4,4 \cdot V_M, & \text{при } V_M < 0,5 \end{cases} \quad (5)$$

где  $V_M$  – параметр, определяющий среднюю скорость ветра, м/с

$$\text{Для нагретых выбросов } (\Delta T > 0) \quad V_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \quad (6)$$

$$\text{Для холодных выбросов } (\Delta T = 0) \quad V_M = \frac{\omega_0 \cdot D}{H} \quad (7)$$

$V_1$  – расход газовой смеси, м<sup>3</sup>/с

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \omega_0 \quad (8)$$

Коэффициент  $k$ :

$$k = \frac{D}{8 \cdot V_1} \quad (9)$$

$\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности.

Если перепад высот не превышает 50 м на 1 км, то  $\eta = 1$ .

## 2. Определение опасного расстояния от источника выброса.

Расстояние  $X_M$  (м) от источника выброса, на котором приземная концентрация при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения  $C_M$  определяется по формуле:

$$X_M = \frac{5 - F}{4} \cdot d \cdot H \quad (9)$$

где коэффициент  $d$  для нагретых выбросов ( $\Delta T > 0$ ) определяется:

$$d = \begin{cases} 2,48 \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}), & \text{при } V_M \leq 0,5 \\ 4,95 \cdot V_M \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}), & \text{при } 0,5 < V_M \leq 2 \\ 7 \cdot \sqrt{V_M} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}), & \text{при } V_M > 2 \end{cases} \quad (10)$$

для холодных выбросов ( $\Delta T = 0$ ) определяется:

$$d = \begin{cases} 5,7, & \text{при } V_M \leq 0,5 \\ 11 \cdot V_M, & \text{при } 0,5 < V_M \leq 2 \\ 16 \cdot \sqrt{V_M}, & \text{при } V_M > 2 \end{cases} \quad (11)$$

## 3. Определение предельно допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу.

ПДВ вредных веществ в атмосферу устанавливается для каждого источника загрязнения атмосферы таким образом, что выбросы вредных веществ от данного источника и от совокупности источников населённого пункта с учётом перспективы развития промышленных предприятий и

рассеивания вредных веществ в атмосфере не создают приземную концентрацию, превышающую предельно-допустимую концентрацию (ПДК) для выбрасываемого вредного вещества.

При установлении ПДВ учитывают фоновые концентрации  $C_{\phi}$ . Фоновая концентрация вредного вещества в атмосфере – концентрация этого вещества без учёта вклада данного источника.

Для нагретых выбросов ( $\Delta T > 0$ ):

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T} \quad (г/с) \quad (12)$$

Для холодных выбросов ( $\Delta T = 0$ ):

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_{\phi}) \cdot H^{4/3}}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot k} \quad (г/с) \quad (13)$$

#### 4. Определение минимальной высоты источника выброса.

Если приземная концентрация вредного вещества превышает допустимую (ПДК), то необходимо разработать мероприятия по снижению этой концентрации. Одним из путей решения этой проблемы является увеличение высоты источника выбросов.

Минимальная высота источника выброса определяется по формуле:

$$H_{MIN} = \left[ \frac{A \cdot M \cdot F \cdot D \cdot K}{(ПДК - C_{\phi})} \right]^{3/4}$$

Если высота источника получается больше, чем реально можно построить, то на данном источнике необходимо установить очистное устройство.

## Практическая работа №5

Тема: Воздушная среда

Цель: научиться рассчитывать параметры очистки воздуха от вредных примесей

### Задача № 1.

РАСЧЕТ ЦИКЛОНА. На пищевом предприятии установлен местный отсос от технологического оборудования с объемом выбросов  $q$  и концентрацией выбросов  $C_{ex}$ . Подобрать тип циклона и выполнить его поверочный расчет по приведенным ниже данным (табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные

Вариант	$\rho_a$ , кг/м <sup>3</sup>	$q$ , м <sup>3</sup> /ч	$C_{ex}$ , г/м <sup>3</sup>	$t_2$ , °С	Вид пыли
1	2	3	4	5	6
1	1100	3 800	10	20	Зерновая
2	1320	5 700	12	62	Дрожжевая (кормовые дрожжи)
3	1220	2 900	18	18	Мучная
4	1115	6 400	14	80	Сухого молока



Вариант	$\rho_{ч}, \text{кг/м}^3$	$q, \text{м}^3/\text{ч}$	$C_{ax}, \text{г/м}^3$	$t_{г}, \text{°C}$	Вид пыли
1	2	3	4	5	6
5	640	7 300	20	35	Сахарная
6	1210	4 200	56	60	Дрожжевая (хлебопекарные дрожжи)
7	1200	8 900	80	26	Мучная
8	1460	11 700	16	20	Сухого молока
9	1110	5 800	110	10	Зерновая
10	550	7 300	10	40	Сахарная
11	1340	13 800	23	65	Дрожжевая (кормовые дрожжи)
12	1050	2 600	92	25	Зерновая
13	1280	14 700	32	90	Сухого молока
14	1400	5 200	24	97	Дрожжевая (кормовые дрожжи)
15	1430	6 100	20	70	Сухого молока
16	750	8 600	51	38	Сахарная
17	1170	11 100	100	24	Зерновая
18	1210	7 900	52	20	Мучная
19	1050	8 600	76	30	Зерновая
20	1420	3 300	14	68	Дрожжевая (хлебопекарные дрожжи)
21	680	2 400	10	43	Сахарная
22	995	14 400	58	15	Зерновая
23	1220	11 500	36	75	Дрожжевая (хлебопекарные дрожжи)
24	1480	7 700	18	85	Сухого молока
25	1190	6 900	35	22	Мучная
26	1240	3 900	28	71	Дрожжевая (хлебопекарные дрожжи)
27	1320	13 600	57	97	Сухого молока
28	700	11 700	70	48	Сахарная
29	1070	7 400	44	20	Мучная
30	1330	14 200	28	100	Дрожжевая (кормовые дрожжи)

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЦИКЛОНА

Определяют оптимальную скорость  $w_{opt}$  в сечении циклона.

Диаметр циклона  $D_{расч}$ , м,

$$D_{расч} = 2\sqrt{q / \pi \cdot w_{opt}}, \quad (1)$$

где  $q$  – объем выбросов предприятия,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$w_{opt}$  – оптимальная скорость в рабочем сечении выбранного циклона, м/с.

Полученное значение  $D_{расч}$  округляют до ближайшего типового значения  $D_{вн}$ . Если  $D_{расч} > D_{вн}$ , то необходимо применять батарею с параллельной установкой  $n$  одиночных циклонов.

По выбранному диаметру циклона находят действительную скорость движения газа в циклоне, м/с:

$$w = \frac{4q}{\pi \cdot D_{вн}^2 \cdot n}, \quad (2)$$

где  $n$  – число одиночных циклонов, шт.

При этом результат несовпадения значений скорости газа в циклоне не должен превышать 15 %.

Коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона  $\varepsilon$ , Па;

$$\varepsilon = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_{500}, \quad (3)$$

где  $k_1$  – поправочный коэффициент, принимается интерполяцией в зависимости от диаметра циклона. При  $D_{вн} = 150 \dots 500$  мм,  $k_1 = 0,85 \dots 1,0$ ; если  $D_{вн} > 500$ ,  $k_1 = 1$ ;

$k_2$  – поправочный коэффициент, принимается в зависимости от запыленности газа  $k_2 = 0,83$ ;

$\xi_{500}$  – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм. При удалении газа по воздуховоду  $\xi_{500}$  принимается в зависимости от вида выбранного циклона  $\xi_{500} = 0,85$ .

Гидравлическое сопротивление циклона  $\Delta P$ , Па,

$$\Delta P = \varepsilon \cdot \rho \cdot w^2 / 2, \quad (4)$$

где  $\rho$  – плотность газа при заданной температуре, вычисляется по уравнению Менделеева-Клапейрона, кг/м<sup>3</sup>.

Для выбранного типа и рассчитанных характеристик циклона определяют значение медианного размера частиц  $d_{50}$ , мкм,

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{(D_{en} / D_m)(\rho_{чм} / \rho_v)(\mu / \mu_m)(w_m / w)}, \quad (5)$$

где  $D_m$  – диаметр типового циклона, м ( $D_m = 0,6$ );

$\rho_{чм}$  – плотность частиц пыли в типовом циклоне, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{чм} = 1930$ );

$\mu$  – вязкость газа при заданной температуре, Па·с ( $\mu = 26,3 \cdot 10^{-6}$ );

$\mu_m$  – вязкость газа в типовом циклоне, Па·с ( $\mu_m = 22,2 \cdot 10^{-6}$ );

$w_m$  – скорость газа в типовом циклоне, м/с ( $w_m = 3,5$ ).

$d_{50}^T = 236$  мкм.

## Задача № 2.

**РАСЧЕТ ТКАНЕВЫХ РУКАВНЫХ ФИЛЬТРОВ С ОБРАТНОЙ ПРОДУВКОЙ.** Расчет фильтров сводится к определению суммарной площади поверхности фильтровальных элементов, их гидравлического сопротивления и сопротивления корпуса фильтра, продолжительности работы фильтра до регенерации (табл. 2).

Таблица 2 Исходные данные

Вариант	Объемный расход газа $Q_{об}$ , м <sup>3</sup> /ч	Концентрация пыли на входе в фильтр $C_{вх}$ , г/м <sup>3</sup>	Характеристика пыли		Характеристика фильтровальной перегородки		Способ регенерации	Температура газа $t$ , °С	Рекомендуемая нагрузка $q_0$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·мин)
			Вид пыли	Дисперсность $d \cdot 10^{-6}$ , м	Ткань, материал	Воздухопроницаемость $w_0$ , м/мин			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	600	20	Мучная	46	Ткань ЦМ, саржа 2,2 арт. 83	4,8	Импульсная продувка	28	1,6
2	1000	45	Зерновая	130	Ткань ЧШ, арт. 21	4,6	То же	16	0,8
3	1200	30	Сахарная	60	Нитрон НМЦ, арт. 5714	8,4	»	80	1,4
4	5000	40	Комби-кормовая	68	То же	8,4	Обратная продувка	45	1,1
5	450	25	Крахмальная	12	Войлок иглопробивной ТУ 17, РСТ 413 – 77	3,2	Импульсная продувка	76	1,8
6	2500	42	Шрот подсолнечный	117	Стеклоткань РСФ(В) – О	3,8	Встряхивание с обратной продувкой	105	0,6
7	800	18	Солодовенная	92	Лавсан арт. 204 – Э	4,2	Импульсная продувка	22	1,2
8	2500	22	Мучная	53	Лавсан двуслойный, арт. 5468	4,0	То же	25	0,8...1,0
9	600	25	Крахмаль	8	Стеклоткань	3,7	»	35	0,9

Вариант	Объемный расход газа $Q_{ог}$ , м <sup>3</sup> /ч	Концентрация пыли на входе в фильтр $C_{вх}$ , г/м <sup>3</sup>	Характеристика пыли		Характеристика фильтровальной перегородки		Способ регенерации	Температура газа $t$ , °С	Рекомендуемая нагрузка $q_0$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·мин)
			Вид пыли	Дисперсность $d \cdot 10^{-6}$ , м	Ткань, материал	Воздухопроницаемость $w_0$ , м/мин			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			ная		ТСФ Ш-О				
10	2800	44	Сахарная	12	Нитрон, арт. 133	6,6	»	92	1,2
11	1200	33	Солодовенная	102	Войлок иглопробивной, ТУ 17-14-45-77	3,2	Встряхивание с обратной продувкой	105	1,4
12	4200	37	Комбикормовая	76	То же	3,2	Обратная продувка	80	1,2
13	2800	46	Зерновая	82	Сукно № 2, арт. 20	3,0	Обратная продувка	20	0,8
14	2500	34	Мучная	26	Ткань ЧШ, арт.21	4,6	Импульсная продувка	24	0,6
15	3200	43	Шрот подсолнечный	140	Слоткань ТСФС-2-0	3,6	Встряхивание и обратная продувка	85	1,1
16	1500	20	Мучная	32	Сукно № 2, арт. 20	3,0	Импульсная продувка	20	1,5
17	1000	15	Сахарная	27	Нитрон, арт. 133	6,6	То же	49	1,1
18	1800	27	Крахмальная	9	Стеклоткань ТСФ Ш-О	3,7	»	30	0,85
19	3100	38	Шрот подсолнечный	108	Стеклоткань РСФ(Б)-О	3,8	Встряхивание с обратной продувкой	73	1,0
20	4200	32	Комбикормовая	53	Нитрон, арт. 133	6,6	Обратная продувка	50	1,0
21	800	29	Мучная	38	Стеклоткань РСФ(Б)-О	3,8	Импульсная продувка	27	0,7
22	920	30	Сахарная	17	Сукно № 2, арт. 20	3,0	То же	56	1,1
23	1100	47	Зерновая	120	Лавсан ТУ 17 – 14 – 45 – 77, арт. 931521	4,2	Обратная продувка	22	1,0
24	700	18	Крахмальная	7	Ткань ЧШ, арт. 20	4,6	Импульсная продувка	32	0,9
25	2200	26	Солодовенная	113	Лавсан ТУ 17 – 14 – 45 – 77	4,2	Встряхивание с обратной продувкой	27	1,2
26	740	17	Крахмальная	18	Войлок иглопробивной, ТУ 17 РСТ 413 – 77	3,2	Импульсная продувка	66	1,85
27	1750	23	Шрот подсолнечный	110	Стеклоткань РСФ(В)-О	3,8	Обратная продувка	82	0,7
28	1050	32	Солодовенная	79	Лавсан ТУ 17 – 14 – 45 – 77, арт. 931521	4,2	Импульсная продувка	31	1,0
29	500	21	Мучная	72	Лавсан двухслойный ТУ 17 РСФСР 805375 арт. 5468	4,0	То же	21	0,95
30	900	29	Крахмальная	6	Стеклоткань ТСФ Ш – 0	3,7	»	47	0,6

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФИЛЬТРА

Площадь поверхности фильтрующих элементов (рукавов)  $F_{\phi}$ , м<sup>2</sup>,

$$F_{\phi} = (Q_{оч} + Q_{он}) / 60q_p + F_p, \quad (8)$$

где  $Q_{оч}$ ,  $Q_{он}$  – соответственно объемный расход воздуха, подаваемого на очистку и на обратную продувку, м<sup>3</sup>/ч;  $q_p$  – удельная газовая нагрузка на фильтрующую ткань, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин);  $F_p$  – площадь поверхности фильтрующих элементов, выключаемых на регенерацию в течение часа, м<sup>2</sup>.

Величина  $F_p$  не рассчитывается, т. к. дополнительная площадь фильтрующей поверхности, учитывающая регенерацию элементов, предусмотрена при расчете  $q_p$  и  $F'_{\phi}$ .

$Q_{он} = (0,02 - 0,08)Q_{оч}$ ; в фильтрах с импульсивной продувкой  $Q_{он} = (0,01 - 0,02)Q_{оч}$ ; в фильтрах с встряхиванием и продувкой  $Q_{он} = 0$ .

Удельная газовая нагрузка для рукавных фильтров  $q_p$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин)

$$q_p = q_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, \quad (9)$$

где  $q_0$  – рекомендуемая нагрузка на фильтровальную ткань, зависящая от ее типа, концентрации пыли в очищаемом воздухе и ее дисперсности, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·мин) (табл. 3);

$C_1$  – коэффициент, учитывающий особенности регенерации рукавов:  $C_1 = 1$  при импульсной продувке, 1,1 – при обратной продувке;

$C_2$  – коэффициент, учитывающий влияние входной концентрации пыли  $C_2 = 1,1$ ;

$C_3$  – коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли  $C_3 = 0,75$ ;

$C_4$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры очищаемого воздуха  $C_4 = 1,06$ ;

$C_5$  – коэффициент, учитывающий требования по эффективности очистки (т. е. при концентрации пыли в очищенном воздухе  $C_{вых} < 10$  мг/м<sup>3</sup>  $C_5 = 0,95$ ;  $C_{вых} \geq 10$  мг/м<sup>3</sup>  $C_5 = 1,0$ ).

Найденная величина  $q_p$  должна быть значительно меньше нормативной величины воздухопроницаемости ткани  $w_0$ , м/мин (табл. 3).

Площадь поверхности фильтрующих элементов  $F_{\phi}$ , м<sup>2</sup>,

$$F_{\phi} = n \cdot F_{\text{э}} / k_u, \quad (10)$$

где  $n$  – число рукавов, шт.,

$F_{\text{э}}$  – площадь поверхности одного рукава, м<sup>2</sup>;

$k_u$  – коэффициент, учитывающий время работы рукава в режиме фильтрации;

$$k_u = 1 - (t_p \cdot k / 3600), \quad (11)$$

где  $t_p$  – время отключения элемента на регенерацию:

при импульсной продувке  $t_p = 0,1 \dots 0,2$  с,

при обратной продувке  $t_p = 20 \dots 40$  с;

$k$  – число регенерации в течение часа:

при импульсной продувке  $k = 300 \dots 600$ ,

при обратной продувке  $k = 2 \dots 4$ .

Число рукавов  $n$ , шт., рассчитать исходя из найденных значений  $q_p$  и  $(Q_{оч} + Q_{он})$ .

$$F'_{\phi} = (Q_{оч} + Q_{он}) / 60 \cdot q_p, \quad (12)$$

$$n = F'_{\phi} / F_{\text{э}}, \quad (13)$$

где  $F'_\phi$  – ориентировочная площадь поверхности всех фильтрующих элементов, м<sup>2</sup>;

$$F_\phi = \pi \cdot d_\phi \cdot l_\phi \quad (14)$$

Полученное значение  $n$  округляют в сторону увеличения с учетом компоновки элементов в корпусе фильтра (рядами, секциями) в зависимости от способа регенерации.

Диаметр рукава  $d_\phi$  и его длину  $l_\phi$  выбирают исходя из размеров типовых промышленных фильтров. Обычно  $d_\phi = 120 \dots 220$  мм;  $l_\phi = 1000 \dots 3500$  мм.

Длину элемента  $l_\phi$  принимают исходя из условия рационального соотношения габаритных размеров корпуса фильтра.

Гидравлическое сопротивление тканевых фильтров  $P$  является суммой сопротивления фильтровальной ткани  $\Delta P_1$  и сопротивления корпуса фильтра  $\Delta P_2$ :

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (15)$$

$$\Delta P_1 = \Delta P'_1 + \Delta P''_1 \quad (16)$$

где  $\Delta P'_1$  – постоянная величина, зависящая от типа ткани и ее толщины, Па;  $\Delta P''_1$  – переменная величина, зависящая от режима фильтрования, массы и свойств осевшей на ткань пыли, Па.

Существует несколько методик расчета этих величин, Выбирают наибольшее из полученных значений. Например, можно вести расчет по формулам (17) и (18):

$$\Delta P'_1 = K_\phi \cdot \mu_2 \cdot q'_p \quad (17)$$

где  $K_\phi$  – коэффициент, характеризующий сопротивление фильтрующей перегородки (рукава), зависит от дисперсности пыли  $K_\phi = 2,5$ ;

$\mu_2$  – динамическая вязкость воздуха при рабочей температуре, Па·с,  $\mu_2 = 31,3 \cdot 10^{-6}$  Па·с

$q'_p$  – удельная газовая нагрузка, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с), принимается из расчетов, выполненных по формуле (26);  $q'_p = q_p / 60$ .

$$\Delta P''_1 = (\mu_2 \cdot \tau \cdot C_{ex} \cdot q_p^2 \cdot K_{nc}) / (2d_{50}^2 \cdot \rho_2) \quad (18)$$

где  $\tau$  – время рабочего цикла фильтрации (между циклами регенерации), с;  $\tau = 3600 / k$ ;

$C_{ex}$  – концентрация пыли на входе в фильтр, кг/м<sup>3</sup>;

$K_{nc}$  – коэффициент, характеризующий сопротивление пылевого слоя  $K_{nc} = 1,35$ ;

$d_{50}$  – медианный размер частиц пыли (м)  $d_{50} = 211 \cdot 10^{-6}$ ;

$\rho_2$  – плотность газа при рабочей температуре, кг/м<sup>3</sup>;

$q'_p$  – удельная газовая нагрузка, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с).

Гидравлическое сопротивление корпуса фильтра  $\Delta P_2$ , Па, определяют по формуле:

$$\Delta P_2 = \xi \cdot V_{ex}^2 \cdot \rho_2 / 2 \quad (19)$$

где  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления при наиболее рациональных концентрациях корпусов,  $\xi = 1,5 - 2$ ;

$V_{ex}$  – скорость газа на входе в корпус, м/с. Зависит от конструкции аппарата и расхода очищаемого воздуха. Принимаем  $V_{ex} = 3 \dots 10$  м/с.

По технико-экономическим соображениям аэродинамическое сопротивление фильтров не должно превышать 0,75-1,5 кПа. При более высоких значениях резко увеличивается проскок пыли и возможен срыв рукавов.

Сделать вывод о целесообразности применения данного фильтра.

### ЗАДАЧА № 3.

РАСЧЕТ ПОЛОГО ФОРСУНОЧНОГО СКРУББЕРА. Провести расчет полого форсуночного скруббера (табл.3).

Таблица 3 Исходные данные

Вариант	Объемный расход газа $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	Размер частиц $d$ , мкм	Скорость газа $v_2$ , м/с	Диаметр капель $d_k$ , мкм	Удельный расход жидкости $m$ , л/м <sup>3</sup>	Температура газа $t_2$ , °С
1	2	3	4	5	6	7
1	50 000	3	0,95	200	2	20
2	43 000	4	1	300	1,1	23
3	33 000	4,5	0,93	100	3	30
4	21 000	10	1	700	1,5	20
5	10 000	2,5	0,9	400	0,9	40
6	13 000	2	1	500	0,95	35
7	18 000	3,5	0,95	400	2,5	50
8	26 000	3	1	200	2,2	44
9	47 000	4	0,92	100	2,3	37
10	38 000	6	0,9	1000	1,7	20
11	51 000	4	0,98	850	1,2	47
12	14 000	3	0,91	1000	4	26
13	19 000	4	0,96	650	1,95	38
14	22 000	2	0,9	250	1,4	41
15	23 000	4	1	1300	4,5	24
16	30 000	4	0,94	950	2	37
17	12 000	2,5	1	200	1	49
18	29 000	1,4	0,9	450	0,9	42
19	25 000	3	0,91	100	1,0	33
20	11 000	3,5	1	1000	3,7	29
21	16 000	4	0,9	850	2,2	21
22	43 000	1	0,95	300	1,3	26
23	12 000	3	1	400	2,7	35
24	20 000	4	1	1500	2,0	41
25	35 000	4,5	0,94	1000	2,1	53
26	46 000	2,5	0,92	200	0,9	47
27	40 000	2	0,9	250	1,5	38
28	17 000	4	1	95	2	18
29	45 000	4	0,9	1350	2,2	47
30	15 000	3	1,1	400	2,4	39

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА СКРУББЕРА

Площадь сечения скруббера  $S$ , м<sup>2</sup>,

$$S = Q / V_2 \quad (20)$$

где  $Q$  – объемный расход очищаемого газа, м<sup>3</sup>/с;

$V_2$  – скорость газа на выходе из аппарата, м/с .

Диаметр скруббера, м,

$$D = \sqrt{4S / \pi} . \quad (21)$$

Высота скруббера  $H$ , м,

$$H = 2,5D. \quad (22)$$

Объемный расход жидкости, подаваемой на орошение в аппарат,  $V_{жс}$ , м<sup>3</sup>/ч,

$$V_{\text{ж}} = m \cdot Q, \quad (23)$$

где  $m$  – удельный расход жидкости,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ,

$Q$  – расход очищаемого газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Коэффициент эффективности захвата каплями частиц определенного диаметра:

при  $m < 2 \text{ л}/\text{м}^3$

$$\eta_{\text{зах}} = \frac{Stk^2}{(Stk + 0,35)^2}; \quad (24)$$

при  $m \geq 2 \text{ л}/\text{м}^3$

$$\eta_{\text{ЗАХ}} = 1 - 0,15Stk^{-1,24}, \quad (25)$$

где  $Stk$  – критерий Стокса [13].

Эффективность пылеулавливания в аппарате

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{3V_{\text{ж}} \eta_{\text{зах}} (v_z + v_k) H}{2Q \cdot d_k \cdot v_k}\right], \quad (26)$$

где  $v_z$  – скорость газа,  $\text{м}/\text{с}$ ,

$H$  – высота скруббера,  $\text{м}$ ,

$Q$  – объемный расход очищаемого газа,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,

$d_k$  – диаметр капли,  $\text{м}$ ,

$v_k$  – скорость осаждения капли,  $\text{м}/\text{с}$ .

Скорость осаждения капли  $v_k$ ,  $\text{м}/\text{с}$ ,

$$v_k = v_{o.z} - v_z, \quad (27)$$

где  $v_{o.z}$  – скорость капли относительно газов,  $\text{м}/\text{с}$ ,

$$v_{o.z} = \sqrt{\frac{4gd_k \cdot \rho_k}{3\rho_z \cdot \xi_k}}, \quad (28)$$

где  $\xi_k = 0,44$  при  $Re > 500$ ,  $\rho_k$  – плотность воды.

### Практическая работа №6

Тема: Расчеты акустического влияния на окружающую среду

Цель работы: рассчитать суммарный уровень звука в заданной расчётной точке от работы систем вентиляции объекта, сравнить с нормативами, назначить при необходимости шумозащитные мероприятия.

#### Порядок выполнения работы

1. Определить акустические характеристики агрегатов систем вентиляции согласно варианту исходных данных и табл. 13.
2. Определить нормативную частотную характеристику для заданного типа расчётной точки согласно варианту исходных данных по табл. 1.
3. Определить снижение звуковой мощности источников шума в воздуховодах и рассчитать уровень звуковой мощности вентиляторов на срезе воздухозаборных/воздуховыпускных отверстий систем вентиляции.
4. Рассчитать уровни звукового давления и уровень звука от каждого источника шума в расчётной точке.
5. Сравнить полученные значения с нормативными и обосновать необходимость шумозащитных мероприятий.
6. Выбрать шумозащитные мероприятия (глушители шума) и определить

- характеристики шумоподавления по табл. 18 и 19.
7. Повторить пункты 3...5 для источников шума с глушителями шума.
  8. Рассчитать суммарный уровень звука в расчётной точке.
  9. Результаты расчётов следует оформить в виде таблиц по форме табл. 20 (по каждому источнику шума до и после установки глушителя) и таблиц по форме табл. 21 (до и после установки глушителя).
  10. Сравнить полученное значение с нормативным, и сделать выводы о достаточности предложенных шумозащитных мероприятий.

### Методика выполнения работы

Согласно [4] октавные уровни звукового давления  $L$  в дБ в расчетных точках, если источник шума и расчетные точки расположены на территории жилой застройки или на площадке предприятия, следует определять по формуле

(9)

где  $L_p$  - октавный уровень звуковой мощности в дБ источника шума;

$\Phi$  - фактор направленности источника шума, безразмерный, определяется по опытным данным. Для источников шума с равномерным излучением звука следует принимать  $\Phi = 1$ ;

$r$  - расстояние в м от источника шума до расчетной точки;

$\Omega$  - пространственный угол излучения звука, принимаемый для источников шума, расположенных:

- в пространстве -  $\Omega = 4\pi$ ;
- на поверхности территории или ограждающих конструкций зданий и сооружений -  $\Omega = 2\pi$
- в двухгранном углу, образованном ограждающими конструкциями зданий и сооружений, -  $\Omega = \pi$

$\beta_a$  - затухание звука в атмосфере в дБ/км, принимаемое по табл. 12.

Табл.12.

### **Затухание звука в атмосфере**

Среднегеометрические частоты октавных полос в Гц	63	125	250	5050	50500	250500	4000	8000
$\beta_a$ , дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Паспортные характеристики некоторых моделей вентиляторов представлены в табл. 13. Они характеризуют звуковую мощность непосредственно перед входом или выходом из вентилятора. К вентиляторам присоединяются воздуховоды, по которым движется воздух и распространяется шум. Распространяясь по воздуховодам, шум постепенно затухает, кроме того, в месте окончания воздуховода (например, воздухозаборная решётка или диффузор) происходит отражение звуковой волны обратно в воздуховод. Прямая и обратная звуковая волна определённой частоты могут, накладываясь, гасить друг друга. Поэтому, чтобы определить уровень звуковой мощности вентиляторов на срезе воздухозаборной решётки (для приточной системы) или на срезе выпускных отверстий (для вытяжных систем) необходимо учесть поправки, представленные в табл. 14 и 15.



Суммарное снижение уровней звуковой мощности по пути распространения шума следует определять последовательно для каждого элемента сети воздуховодов и затем суммировать.

Табл. 13.

**Уровни звуковой мощности вентиляторов**

Тип вентилятора	Уровни звуковой мощности в дБ при среднегеометрической частоте октавных полос в Гц							
	63	125	250	5050	50500	250500	4000	8000
BP-300-45-2 (Мовен)	71	71	75	77	84	70	67	60
BP-300-45-2,5 (Мовен)	76	76	77	78	79	74	72	70
BP-300-45-3,15 (Мовен)	74	74	76	82	69	66	59	56
BP-300-45-4 (Мовен)	82	83	83	85	81	78	75	68
СК-100-А(Ostberg)	47	50	55	57	57	51	44	27
СК-100-С(Ostberg)	52	56	63	64	64	58	52	37
СК-125-А(Ostberg)	44	48	52	55	54	51	44	29
СК-125-С (Ostberg)	50	55	61	66	64	62	55	39
СК-160-В (Ostberg)	47	53	59	61	62	60	57	41
СК-160-С (Ostberg)	47	56	65	69	69	60	61	45
RP 50-25/22-6D (Remak)	58	58	62	57	57	57	54	44
RP 50-30/25-4D (Remak)	67	67	65	63	67	68	65	57
RP 60-30/28-4D (Remak)	70	70	68	67	72	72	69	61
RP 60-35/31-4D (Remak)	72	72	67	67	71	71	69	60
RP 70-40/35-4D (Remak)	77	77	75	74	78	78	74	64
RP 80-50/40-6D (Remak)	70	70	66	69	71	70	66	58

Снижение октавных уровней звуковой мощности в дБ на 1м длины в прямых участках металлических воздуховодов прямоугольного и круглого сечений следует принимать по табл. 14.

Снижение октавных уровней в звуковой мощности в дБ в результате отражения звука от открытого среза воздуховода или воздухозаборной решетки следует определять по табл. 15.

Табл.14.

**Снижение звуковой мощности вентиляторов в прямых воздуховодах**

Форма поперечного сечения воздуховода	Гидравлический диаметр в мм	Снижение уровней звуковой мощности в дБ/м при среднегеометрической частоте октавных полос в Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Прямоугольное	От 75 до 200	0,6	0,6	0,45	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	» 210 »400	0,6	0,6	0,45	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
	»410 » 800	0,6	0,6	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	» 810» 1600	0,45	0,3	0,15	0,1	0,06	0,06	0,06	0,06
Круглое	От 75 до 200	0,10	0,1	0,15	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3
	» 210 »400	0,06	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2	0,2	0,2
	»410 » 800	0,03	0,06	0,06	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15
	» 810 »1600	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06

Как указывалось в главе 1, для оценки шума одним числом, учитывающим субъективное восприятие его человеком, используется "уровень звука" (в дБА). Для вычисления уровня звука в дБА октавные уровни звукового давления, корректируются по кривой частотной коррекции «А», характеризующей приближенно частотную характеристику восприятия

шума человеческим ухом, а затем вычисляется уровень звука в дБА по следующей формуле:

$$(10)$$

где  $L_i$  - скорректированные по шкале «А» октавные уровни звукового давления, дБ.

Табл. 15.

**Снижение звуковой мощности вентиляторов в результате отражения звука от открытого среза воздуховода**

Диаметр воздуховода или корень квадратный из площади поперечного сечения конца прямоугольного воздуховода или решетки в мм	Снижение октавных уровней звуковой мощности в дБ при среднегеометрической частоте октавной полосы в Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
25	24	22	19	15	10	6	2	0
50	22	19	15	10	5	2	0	0
80	20	16	11	7	3	0	0	0
100	19	14	10	5	2	0	0	0
125	18	13	8	4	1	0	0	0
140	16	12	8	4	1	0	0	0
160	16	11	7	3	0	0	0	0
180	15	11	6	2	0	0	0	0
200	14	10	6	2	0	0	0	0
225	14	9	5	1	0	0	0	0
250	13	8	4	1	0	0	0	0
280	12	8	3	1	0	0	0	0
315	11	7	3	0	0	0	0	0
355	11	6	2	0	0	0	0	0
400	10	5	2	0	0	0	0	0
450	8	5	1	0	0	0	0	0
500	8	4	1	0	0	0	0	0
560	8	3	1	0	0	0	0	0
600	7	3	1	0	0	0	0	0
710	6	2	0	0	0	0	0	0
900	5	2	0	0	0	0	0	0

Поправки к октавным уровням звукового давления для коррекции по шкале «А» представлены в табл. 16.

Табл. 16.

**Поправки взвешивающего фильтра «А»**

Среднегеометрическая частота октавных полос в Гц	63	125	250	5050	50500	250500	4000	8000
Поправки, дБ	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1

Суммарный уровень звука  $L_{A\Sigma}$  в дБА в расчетной точке при наличии нескольких источников шума следует определять от каждого источника шума в отдельности и полученные величины суммировать (по энергии) в соответствии с табл. 17.

Табл. 17.

**Поправки для определения суммарного уровня шума от нескольких источников шума**

Разность двух складываемых уровней, дБ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20

Добавка к более высокому уровню, необходимая для получения суммарного уровня, дБ	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0
--	---	-----	---	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	-----	---

При пользовании табл. 17. следует последовательно складывать уровни звука в дБА, начиная с максимального. Сначала следует определять разность двух складываемых уровней, затем соответствующую этой разности добавку. После этого добавку следует прибавить к большему из складываемых уровней. Полученный уровень складывают со следующим и т.д.

Если уровни звукового давления или суммарный уровень звука в расчётной точке превышают нормативные значения, следует предусматривать шумозащитные мероприятия. Наиболее эффективным мероприятием является установка глушителя на участке воздуховода, идущего от вентилятора к впускному или выпускному срезу. В этом случае октавные уровни звуковой мощности вентиляторов следует уменьшать в соответствии с характеристиками глушителя, представленными в табл. 18 и 19.

Табл. 18.

### Характеристики круглых шумоглушителей

Тип глушителя	Ø воздуховода	Снижение октавных уровней звуковой мощности в дБ при среднегеометрической частоте октавной полосы в Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SLU 100/900	100	8	9	22	32	36	33	31	28
SLU 125/900	125	6	7	16	28	38	38	35	33
SLU 160/900	160	7	8	14	23	39	37	25	23

Табл. 19. Характеристики прямоугольных шумоглушителей

Тип глушителя	Сечение воздуховода мм	Снижение октавных уровней звуковой мощности в дБ при среднегеометрической частоте октавной полосы в Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ТН 500×250	500×250	3	5	9	18	23	23	21	16
ТН 500×300	500×300	3	5	9	18	23	23	21	16
ТН 600×300	600×300	3	6	11	22	27	30	26	21
ТН 600×350	600×350	3	6	11	22	27	30	26	21
ТН 700×400	700×400	3	6	10	20	25	28	24	18
ТН 800×500	800×500	3	6	11	22	27	30	26	21

Таблица 1.

### Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и максимальные уровни звука (извлечения из [2])

№пп	Вид трудовой деятельности, рабочее место, назначение помещений или территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквив. уровни звука, дБА	Максимальные уровни звука, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
1	Территории, непосредствен но прилегающие к зданиям больниц...	с 7 до 23 ч	83/78	67/62	57/52	49/44	44/39	40/35	37/32	35/30	33/28	45/40	60/55	
		с 23 до 7 ч	76/71	59/54	48/43	40/35	34/29	30/25	27/22	25/20	23/18	35/30	50/45	
14)	Территории, непосредствен но прилегающие к жилым домам...до	с 7 до 23 ч.	90/85	75/70	66/61	59/54	54/49	50/45	47/42	45/40	44/39	55/50	70/65	
		с 23 до 7 ч.	83/78	67/62	57/52	49/44	44/39	40/35	37/32	35/30	33/28	45/40	60/55	
3	Площадки отдыха на территории	-	76/71	59/54	48/43	40/35	34/29	30/25	27/22	25/20	23/18	35/30	50/45	

	больниц и санаториев												
4	Административно-управленческая деятельность...	-	93/88	79/74	70/65	68/63	58/53	55/50	52/47	52/47	49/44	60/55	-
5	Работа, требующая сосредоточенности; работа с повышенными требованиями к процессам наблюдения ...	-	103/98	91/86	83/78	77/72	73/68	70/65	68/63	66/61	64/59	75/70	-

### Исходные данные

В жилой зоне предполагается расположить некий объект, имеющий три системы вентиляции с принудительным побуждением. Вентилятор приточной системы П1 расположен внутри здания, а на фасад выведена воздухозаборная решётка. Вентилятор вытяжной системы В1 расположен в венткамере на кровле здания, а выпуск воздуха производится вверх (факельный выброс). Вентилятор вытяжной системы В2 расположен внутри здания, а выпуск воздуха производится через решётку, расположенную на фасаде здания. Схема расположения источников шума и расчётной точки показана на рис. 3. Исходные данные для задачи №2 представлены в прил. 2.

Рис. 3. Расчётная схема расположения источников шума и расчётной точки.-17-

Таблица 20.

**Результаты расчёта (по каждому источнику шума)**

	Октавные полосы частот, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<b>Уровень звуковой мощности источника шума, дБ</b>								
Форма поперечного сечения воздуховода								
Ширина, мм								
Высота, мм								
Гидравлический диаметр воздуховода, мм								
Снижение звуковой мощности в воздуховоде, дБ/м								
Длина воздуховода, м								
Снижение звуковой мощности в результате отражения звука от открытого конца воздуховода или решетки, дБ								
Снижение звуковой мощности глушителем, дБ								
<b>Звуковое давление на срезе, дБ</b>								
Снижение шума в атмосфере, дБ/км								
Расстояние до расчётной точки, м								
Фактор направленности								
Угол излучения звука								
<b>Звуковое давление у расчётной точки, дБ</b>								
<b>Норма, дБ</b>								
<b>Превышение, дБ</b>								
Фильтр кривой коррекции «А», дБ								
<b>Итого, дБ</b>								
<b>Уровень звука, дБА</b>								
<b>Норма, дБА</b>								
<b>Превышение, дБА</b>								

**Результаты расчёта (по всем источникам шума суммарно)**

Источник с максимальным уровнем звука, дБА	
Источник со средним уровнем звука, дБА	
Разница, дБА	
Поправка, дБА	
Суммарный уровень звука, дБА	
Источник с минимальным уровнем звука, дБА	
Разница, дБА	
Поправка, дБА	
Суммарный итоговый уровень звука, дБА	

Варианты исходных данных

№2

No	Тип вентилятора в системе			Размер сечения воздуховода, мм			Длина воздуховода, м			Расстояние до РТ, м			ТипРТ
	П1	В1	В2	П1	В1	В2	П1	В1	В2	П1	В1	В2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	RP 50-25/22-6D	BP-300-45-2	CK-ЮО-А	500x250	500x250	100	3	3	7	50	56	49	ПО
2	RP 50-30/25-4D	BP-300-45-2	CK-ЮО-С	500 250	500 250	100	4	2	8	20	26	18	ЖД
3	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-2	CK-125-А	600x300	500x250	125	6	4	9	18	24	16	ЖД
4	RP 60-35/31-4D	BP-300-45-2	CK-125-А	600x300	500x250	125	6	4	9	12	17	9	ЖД
5	RP 80-50/40-6D	BP-300-45-4	CK-160-С	800x500	800x500	160	3	2	5	20	26	18	Б
6	RP 70-40/35-4D	BP-300-45-3,15	CK-125-С	700x400	700x400	125	5	3	7	30	36	29	Б
7	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-4	CK-ЮО-А	600x300	800x500	100	4	5	9	15	20	13	ЖД
8	RP 50-30/25-4D	BP-300-45-2,5	CK-125-С	500x300	600x350	125	3	6	2	14	19	11	ЖД
9	RP 60-35/31-4D	BP-300-45-2,5	CK-ЮО-С	600x350	600x350	100	4	2	8	25	31	24	Б
10	RP 50-25/22-6D	BP-300-45-2	CK-ЮО-С	500x250	500x250	100	4	4	9	35	41	34	Б
11	RP 70-40/35-4D	BP-300-45-2,5	CK-160-С	700x400	600x350	160	6	2	5	30	36	29	ЖД
12	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-2	CK-160-С	600x300	500x250	160	3	3	7	18	24	16	ЖД
13	RP 50-25/22-6D	BP-300-45-2,5	CK-ЮО-А	600x35010	600x350	100	3	3	7	35	41	34	ПО
14	RP 50-30/25-4D	BP-300-45-2	CK-160-В	500x250	500x250	160	4	2	5	27	33	26	Б
15	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-2,5	CK-125-С	600x300	600x350	125	5	8	3	15	20	13	ЖД
16	RP 80-50/40-6D	BP-300-45-4	CK-ЮО-А	800x500	800x500	100	7	2	8	20	26	18	ЖД
17	RP 70-40/35-4D	BP-300-45-3,15	CK-125-С	700x400	700x400	125	4	3	9	19	25	17	ЖД
18	RP 80-50/40-6D	BP-300-45-2,5	CK-160-В	800x500	600x350	160	7	2	3	21	27	19	ЖД
19	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-2,5	CK-160-В	600x300	600x350	160	4	2	9	28	34	27	Б
20	RP 50-30/25-4D	BP-300-45-3,15	CK-ЮО-С	700x40010	700x400	100	5	3	5	27	33	26	Б
21	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-2,5	CK-160-С	600x300	600x350	160	4	2	9	15	20	13	ЖД
22	RP 60-35/31-4D	BP-300-45-2,5	CK-160-В	600x350	600x350	160	7	3	5	12	17	9	ЖД
23	RP 70-40/35-4D	BP-300-45-3,15	CK-ЮО-С	700x400	700x400	100	3	3	3	16	21	14	ЖД
24	RP 80-50/40-6D	BP-300-45-4	CK-125-С	800x500	800x500	125	6	3	7	13	18	10	ЖД
25	RP 60-35/31-4D	BP-300-45-3,15	CK-160-С	600x350	700x400	160	4	2	3	12	17	9	ЖД
26	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-2,5	CK-125-А	600x300	600x350	125	7	3	8	25	31	24	Б
27	RP 70-40/35-4D	BP-300-45-3,15	CK-160-С	700x400	700x400	160	6	2	3	50	56	49	ПО
28	RP 70-40/35-4D	BP-300-45-2,5	CK-160-В	700x400	600x350	160	4	3	8	45	51	44	Б
29	RP 60-30/28-4D	BP-300-45-2	CK-160-С	600x300	500x250	160	6	3	12	43	49	42	Б
30	RP 70-40/35-4D	BP-300-45-4	CK-125-С	700x400	800x500	125	6	3	12	35	41	34	ЖД

## Практическая работа №7

Тема: Флора и Фауна

Цель: ознакомиться с флорой и фауной стран мира

Задание:

Опишите климат, флору и фауну страны, согласно варианту

1. Австралия
2. Австрия
3. Англия
4. Армения
5. Беларусь
6. Бельгия
7. Болгария
8. Венгрия
9. Германия
10. Греция
11. Грузия
12. Египет
13. Израиль
14. Ирак
15. Ирландия
16. Испания
17. Италия
18. Казахстан
19. Канада
20. Китай
21. Латвия
22. Литва
23. Македония
24. Монако
25. Нидерланды
26. Норвегия
27. Польша
28. Португалия
29. Румыния
30. Сирия
31. Турция
32. Украина
33. Франция
34. Чехия
35. Швеция