

## Лекция №7

**Выбросы CO в единицу времени на участке магистрали единичной длины от ТП, движущегося в одном направлении:**

$$Q_{CO} = 2,78 \cdot 10^{-4} \sum_{j=1}^2 q_j^{CO} \overline{N}_{pj}, \text{ мг/м} \cdot \text{с} \cdot$$

где  $\overline{N}_{pj}$  - приведенная интенсивность движения Л или Г автомобиля в единицу времени;

$q_j^{CO}$  - пробеговый выброс, мг/м.

### Приведенная интенсивность движения

Токсическая характеристика транспортного потока зависит от состава дорожного движения. При оценке воздействия ТП на окружающую среду для учета этого фактора вводятся поправочные коэффициенты, учитывающие отклонение состава движения от принятых наиболее типичных условий, или коэффициенты для приведения различных типов ТС к однородному потоку приведенных автомобилей. В последнем случае, ТП рекомендуется приводить к потоку, состоящему из двух типов расчетных автомобилей: легковых (Л) и грузовых (Г):

$$\overline{N}_{pj} = \sum_{i=1}^I K_{npj} N_i,$$

где  $N_i$  – фактическая интенсивность движения ТС  $i$ -го типа в единицу времени;  $K_{npj}$  – коэффициент приведения к Л или Г автомобилю для ТС  $i$ -го типа (табл.);  $I$  – число типовых групп ТС.

### Коэффициенты приведения по выбросу CO для типа расчетного автомобиля

Вид ТС	Коэффициенты приведения по выбросу CO для типа расчетного автомобиля	
	Л	Г
Легковые автомобили	1,00	--
Грузовые автомобили, грузоподъемностью, т:		
- до 2	1,5	--
- 2-5	--	1,00
- 10-15	--	1,85
- свыше 15	--	2,50
Автобус пассажироместимости, пас.:		
- особо малой	1,4	--
- малой	--	1,00
- средней	--	1,85
- большой	--	2,25

Для дизельных грузовых автомобилей и автобусов коэффициент приведения следует умножить на 0,14, а для газобаллонных автомобилей – на 0,25.

#### Первый вариант определения пробегового выброса CO

Среднее значение пробегового выброса CO от одного автомобиля расчетного  $j$ -го типа на участке магистрали, включающем перегон и регулируемый перекресток:

$$q_j^{CO} = \left\{ \delta_{oi} L_{II}^{-1} [a_j V_j + b_j T_u (1 - \lambda) + C_j] + d_j V_j^{-1} + e_j \right\} IIR_j^{CO}, \text{ г/км}$$

где  $\delta_{oi}$  – доля остановленных автомобилей, на данном подходе к перекрестку;

$L_{II}^{-1}$  – длина перегона, км;

$a_j$ ;  $b_j$ ;  $c_j$ ;  $d_j$ ;  $e_j$  – постоянные коэффициенты, значение которых для расчетного легкового автомобиля соответственно равны  $1,71 \cdot 10^{-1}$ ;  $4,1 \cdot 10^{-2}$ ;  $-2,47$ ;  $68,0$ ;  $9,65$ , а для расчетного грузового автомобиля  $6,56 \cdot 10^{-1}$ ;  $1,25 \cdot 10^{-1}$ ;  $-7,50$ ;  $-604,8$ ;  $49,0$ ;

$V_j$  – средняя скорость установившегося движения легковых и грузовых автомобилей на перегоне, км/ч;

$\lambda$  – эффективная доля горения разрешающего сигнала светофора;

$T_u$  – длительность цикла светофорного регулирования, с;

$PR_j^{CO}$  – произведение поправочных коэффициентов, учитывающих влияние ряда факторов на изменение количества выбрасываемого  $CO$  автомобилем  $j$ -го типа:

Коэффициент  $PR_j^{CO}$  определяют как произведение частных:

$$PR_j^{CO} = R_{nj}^{CO} \cdot R_{внj}^{CO} \cdot R_{ymj}^{CO}$$

где  $R_{nj}^{CO}$  - коэффициент, учитывающий изменение нормативных требований к пробеговому выбросу  $CO$  для автомобиля расчетного типа;

$R_{внj}^{CO}$  - коэффициент, учитывающий влияние среднего возраста парка автомобилей, находящихся в эксплуатации, на пробеговый выброс  $CO$ ;

$R_{ymj}^{CO}$  - коэффициент, учитывающий влияние уровня технического состояния автомобилей на пробеговый выброс  $CO$ .

Или как общее произведение:

$$PR_{Л}^{CO} = 2,07 - 0,09(T - 2001),$$

$$PR_{Г}^{CO} = 2,26 - 0,07(T - 2001)$$

где  $T$  – расчетный год определения выброса  $CO$  (разница должна быть 7 – 10 лет).

Второй вариант определения пробегового выброса  $CO$

$$q_j^{CO} = 10^4 \left( \alpha_j V_{cj} + \beta_j L_n + \frac{\gamma_j V_{cj}}{4} \right)^{-1} PR_j^{CO}$$

где  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_j$  – коэффициенты, принимаемые соответственно равными 1,0; 67,0; -6,20 для Л и 0,575; 16,7; -1,45\*10<sup>-1</sup> для Г;  $V_{cj}$  – средняя скорость сообщения автомобилей  $j$ -го типа, км/ч.

Это выражение получено при  $L_n=0,14...2,3$  км. и  $V_c=18...48$  км/ч.

Повышение скорости сообщения на 10% приводит к снижению пробегового выброса  $CO$  на 5...7% при  $L_n=0,2$  км. и на 2...3% при  $L_n=0,8$  км., а увеличение средней длины перегонов с 0,2 до 0,4 км при одновременном повышении  $V_c$  на 30...35% приводит к снижению выброса на 30...40%.

Таким образом, резервы уменьшения массы выброса вредных веществ, в особенности  $CO$  и  $C_nH_m$ , заключаются в снижении плотности улично-дорожной сети и повышении скорости сообщения за счет рациональной организации движения, применения АСУД, улучшения дорожных условий на магистралях.

Анализ работы АСУД в нашей стране и за рубежом свидетельствуют о следующем соотношении скоростей сообщения при координированном ( $V_{ск}$ ) и изолированном ( $V_{си}$ ) управлении светофорами:

$$V_{ск} = 1,5V_{си} - 4.$$

#### Третий вариант определения пробегового выброса $CO$

При проектировании генплана города или территориальной комплексной схемы охраны природы, комплексной транспортной схемы города или улично-дорожной сети района, когда нет необходимости и возможности прогнозировать (рассчитывать) режимы ТП, можно использовать следующую формулу для определения пробегового выброса  $CO$ :

$$q_j^{CO} = [a_{1j} + \mu(a_{2j} + a_{3j}m)L_{II}^{-1}] IIR_j^{CO},$$

где  $a_{1j}$ ,  $a_{2j}$  и  $a_{3j}$  – коэффициенты, значения которых для Л соответственно равны 12; 3,55; 0,23, а для Г 45; 9,25; 0,37;

$m$  – число полос движения в одном направлении.

$\mu$  - коэффициент, который зависит от уровня организации и условий движения на городских магистральных улицах:

- 1) нерегулируемое движение, частые перекрестки, значительное поперечное движение ТС и пешеходов – 1,25...1,50;
- 2) нерегулируемое движение, редкие перекрестки, островки безопасности и маркировка, незначительное поперечное движение ТС и пешеходов – 1,00...1,25;

3) жесткое изолированное светофорное регулирование, пересечение транспортных и пешеходных потоков в одном уровне – 0,80...1,00;

4) координированное гибкое регулирование, пересечение транспортных и пешеходных потоков в одном уровне – 0,60...0,80;

5) автоматизированное, усовершенствованное регулирование, подземные пешеходные переходы – 0,40...0,60;

6) непрерывное движение, транспортные и пешеходные тоннели, разделение транзитного и местного движения – до 0,20.

Для расчета выброса CO, г/(м с) можно использовать формулу, учитывающую расход топлива потоком автомобилей, г/ (м с):

$$Q_{CO} = 2,06 \cdot 10^{-4} m(G_L N_L + G_G N_G + G_A N_A)$$

где  $G_L$ ,  $G_G$ ,  $G_A$  – среднее количество топлива, потребляемое соответственно легковыми, грузовыми автомобилями и автобусами на 1 км. пробега;

$N_L$ ,  $N_G$ ,  $N_A$  - интенсивность движения легковых, грузовых автомобилей и автобусов;

$m$  – поправочный коэффициент, учитывающий перераспределение процентного содержания CO в ОГ при изменении скорости движения автомобилей:

Скорость движения, км/ч	20	30	40	50	60	70	80
$m$	0,72	0,60	0,45	0,22	0,10	0,12	0,16

Данная формула может быть использована только для ориентированной оценки, так как не учитывает структуру, техническое состояние парка, условия движения и эксплуатации автомобилей.

**Выбросы окислов азота, мг/(м с):**

$$Q_{NO} = 2,78 \cdot 10^{-4} (q_L^{NO} N_L + q_G^{NO} N_G),$$

$$q_L^{NO} = 2,3 + 0,1(V_L - 34) - 0,05(T - 2001),$$

$$q_G^{NO} = 8,00 + 0,17(V_G - 34) - 0,15(T - 2001),$$

где  $N_L$  и  $N_G$  – фактическая интенсивность движения соответственно легковых и грузовых автомобилей в одном направлении, авт./ч;

$V_L$  и  $V_G$  – скорость установившегося движения соответственно легковых и грузовых автомобилей, км/ч.

В Швейцарии предложена формула для расчета выброса CO и NO на городской улице:

$$Q = \frac{NC_{CO,NO}t}{60U},$$

где  $U$  - скорость ветра, м/с;

$N$  - интенсивность движения, авт./мин.;

$C_{CO,NO}$  - концентрация CO или NO, мг/м<sup>3</sup>;

$t$  - время нахождения одного автомобиля на 1 метре дороги, с/м.

**Выбросы углеводородов  $C_nH_m$ , мг/(м с), от ТП в одном направлении на участке магистрали:**

$$Q_{CH} = 2,78 \cdot 10^{-5} [1,57 - 0,08(T - 2001)] (\overline{q}^{CO} N_L + \overline{q}^{CO} N_G),$$

где  $\overline{q}^{CO}$  - условный пробеговый выброс CO автомобилем расчетного типа без учета произведения коэффициентов  $PIR_j^{CO}$  ( $PIR_j^{CO} = 1,0$ ).

$$\overline{q}_L^{CO} = \frac{q_L^{CO}}{PIR_L^{CO}},$$

$$\overline{q}_G^{CO} = \frac{q_G^{CO}}{PIR_G^{CO}}.$$

## Нормативные значения выбросов токсичных компонентов ОГ

Категория улиц и дорог	Склад транспортного потока	Викид токсичних компонентів відпрацьованих газів, кг/(км·ГОД)		
		CO	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	NO <sub>x</sub>
Швидкісні дороги Магістральні вулиці та дороги: загальноміського значення:	Легковий	101,4 – 131,4	7,4 – 9,2	29,6 – 37,1
		128,4 – 168,0 152,7 – 204,0	9,1 – 11,9 10,8 – 14,4	27,0 – 35,1 26,5 – 35,4
безперервного руху регульованого руху	Легковий Змішаний	72,7 – 90,8 82,6 – 106,3	5,2 – 6,6 5,9 – 7,5	10,4 – 13,0 9,9 – 12,7
		79,4 – 99,3 89,7 – 115,0	5,7 – 7,2 6,5 – 8,3	9,3 – 11,6 8,6 – 11,0
Дороги вантажного руху	Вантажний	54,4 – 69,8	3,9 – 5,0	4,8 – 6,2

**Вопрос 3. Расчет концентрации токсичных компонентов в атмосферном воздухе**

Степень влияния вредных выбросов АТ на окружающую среду определяется уровнем их приземных концентраций в атмосферном воздухе.

Можно условно выделить два основных подхода к созданию модели:

1) В основе первого лежат эмпирические зависимости, полученные в результате статистической обработки данных натуральных измерений и физического моделирования. В настоящее время за рубежом при строительстве автомагистралей широкое распространение получил метод «меченых газов». Цель метода – определение скорости и направления рассеивания ОГ, что дает возможность оценить степень загрязнения ОС.

2) Другой подход базируется на использовании основных зависимостей расчета концентраций вредных веществ от стационарных источников применительно к ТП.

Рассмотрим некоторые из эмпирических моделей, устанавливающих связь между загрязнением воздуха магистралей определенными токсичными компонентами ОГ и параметрами ТП, элементами поперечного профиля улиц, метеорологическими факторами.

**1. Концентрация СО в воздухе на краю ПЧ:**

$$C_{CO} = 1,53N^{0,368}, \text{ чнм. (млн}^{-1}\text{)}.$$

**2. Концентрация СО над краем ПЧ:**

$$C_{CO} = 0,006N_{л} - 9 \lg V_{п} - 0,3U + 17, \text{ мг/м}^3$$

где  $N_{л}$  – приведенная интенсивность движения Л, авт./ч;

$V$  – средняя скорость потока, км/ч;

$U$  – средняя скорость ветра, м/с.

**3. Агентство защиты окружающей среды США, мг/м<sup>3</sup>:**

$$C_{CO} = \frac{1,37Q_{CO}}{(0,82 \cdot V^2)^{1/3} \left(\frac{X}{U}\right)^{2/3} U},$$

где  $Q_{CO}$  – объем выброса СО, мг/(м с);

$X$  – расстояние до расчетной точки, м.

4. Токсичность воздуха на уровне фасада зданий, расположенных вдоль транспортных магистралей, мг/м<sup>3</sup>:

$$T = \frac{69N}{Bh\Gamma} [1 + 7,8(M - 0,02)],$$

где  $T$  – токсичность воздуха в долях ПДК;

$B$  – ширина магистрали, м;

$h$  – высота зданий, м;

$\Gamma$  – естественная кратность воздухообмена (в течение 1 ч.);

$M$  – концентрация озона в воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

5. Концентрация токсичного выброса как среднее на обеих сторонах улицы, мг/м<sup>3</sup>:

$$K = \frac{N\rho q}{120U},$$

где  $\rho$  – плотность движения;

$q$  – пробеговый выброс от одного автомобиля, г/км.

6. Концентрация СО в воздухе над бордюром проезжей части, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{CO} = (NF)^{1/2} e^{-\frac{U+1}{3}} \left[ 1 + 1,17 \left( \frac{h}{B} \right)^{2/3} \right],$$

где  $F = 1,75 \cdot 10^{-4} (1,43 \cdot 10^{-2} \Delta_r + 1) V^2 - 2,67 \cdot 10^{-2} (5,17 \cdot 10^{-3} \Delta_r + 1) V - 1$ .

7. Концентрация СО в воздухе примагистральных территорий, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{CO(X)} = (NF) e^{-\frac{0,16X_{\delta} + U + 1}{3}},$$

где  $X_{\delta}$  – расстояние от бордюра проезжей части до расчетной точки, м.

8. Расчетная концентрация СО на высоте 1,5 метра над кромкой проезжей части участка автомобильной дороги, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{CO} = [K_1 \cdot K_3 \cdot K_3 (7,3 + 0,026N)],$$

где  $N$  – приведенная интенсивность движения в обоих направлениях автомобилей и автобусов с карбюраторными двигателями, авт./час.;

$K_1$  – коэффициент, который учитывает влияние состава транспортного потока и его скорости;

$K_2$  – коэффициент, который учитывает продольный уклон дороги;

I, %	10-30	30-50	50-70	Более 70
K <sub>2</sub>	1	1,02	1,04	1,06

K<sub>3</sub> – коэффициент, который учитывает снижение концентраций СО за счет снижения токсичности автомобильных выбросов благодаря улучшению конструкции двигателей и методов их эксплуатации (на 1990 год - K<sub>3</sub> = 0,17, на 2000 год - K<sub>3</sub> – 0,11).

9. Расчетная, максимальная разовая концентрация СО на краю ПЧ, мг/м<sup>3</sup>:

$$C_{CO} = [K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 (7,38 + 0,026N) + \sum A_i] \left( \frac{UB}{30} \right)^{-1/3},$$

где  $\sum A_i$  - сумма поправок, учитывающих отклонение фактических условий от принимаемых ( $V_{автo}=40$  км/ч, в составе потока 40% грузовых автомобилей, продольный уклон равен 0).

Примагистральная застройка воздействует на условия рассеивания ОГ автомобилей, обеспечивая приток воздуха с прилегающих территорий. Чем плотнее застройка, тем меньше воздуха она пропускает, тем хуже проветривание на магистрали. При одной и той же этажности композиция застройки может быть различной и обеспечивать различную локальную плотность. Поэтому, при расчете концентраций токсичных веществ в атмосферном воздухе или предельного допустимого выброса от потока автомобилей, следует учитывать не только этажность, но и композицию застройки.

Многообразные приемы композиционной застройки должны быть схематизированы, то есть на рассматриваемом участке магистрали приведены к одной из следующих схем: линейной; групповой; свободной; разряженной застройке.

Для исследования условий воздухообмена на улицах может использоваться единая аэродинамическая характеристика фронта застройки вдоль красной линии, применяемая для возможных планировочных решений и любой этажности застройки. Такой характеристикой является коэффициент

ажурности застройки, представляющий собой отношение площади проекций разрывов между зданиями к общей площади проекции фронта застройки.

$$10. A = m_k m_\gamma,$$

где  $m_\gamma$  – коэффициент, зависящий от средней этажности застройки;

Средняя этажность примагистральной застройки:

$$h_{cp} = \frac{\sum_{k=1}^n h_k l_k}{\sum_{k=1}^n l_k},$$

где  $n$  – число домов примагистральной застройки, прилегающих к рассматриваемой стороне участка магистрали;

$h_k$  – число этажей  $k$ -го дома рассматриваемого участка магистрали ( $k=1, 2, \dots, n$ );

$l_k$  – длина проекции  $k$ -го дома на красную линию магистрали, м.

$h_{cp}$	1	2	3	5	7	9	11	14	16	20
$m_\gamma$	0,50	0,55	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,79	0,85	0,97

$m_k$  – коэффициент, зависящий от композиции застройки.

Угол поворота здания к оси магистрали, $\gamma$ , град $\gamma_{cp} = \arccos \left( \frac{\sum_{k=1}^n l_k}{\sum_{k=1}^n l_{dk}} \right)$	Относительная протяженность разрывов $\Delta l$ , % $\Delta l = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{k=1}^n l_k}{L_M} \right)$	Значения $m_k$ в зависимости от схемы жилой застройки			
		Линейная		Строчная	Групповая
		Линейные здания	Точечные здания		
0	0	0,51	--	0,40	0,35
	20	0,65	0,61	0,55	0,50
	40	0,78	0,76	0,70	0,65
	60	0,93	0,91	0,85	0,80
45	0	0,64	--	0,64	0,30
	20	0,70	0,60	0,70	0,48
	40	0,79	0,72	0,79	0,66
	60	0,90	0,85	0,88	0,84
90	0	--	--	0,63	0,35
	20	--	0,61	0,70	0,50
	40	--	0,76	0,78	0,65
	60	--	0,91	0,85	0,80

где  $l_{dk}$  – длина фасада или торца  $k$ -го дома, обращенного к магистрали.

Если данная композиция относится к свободной планировке, то  $m_k=1,0$ .

**Композицию и среднюю этажность застройки определяют по данным проектов детальной планировки, имеющимся в главном архитектурно-планировочном управлении или соответствующих отделах проектных институтов. Необходимая характеристика застройки может быть получена при комплексном обследовании участков магистрали при измерении протяженности зданий и разрывов между ними, а также описании композиции застройки непосредственно на участке магистрали.**

**11. Расчетная среднесуточная концентрация загрязняющего вещества, выбрасываемого с ОГ автомобилей, мг/м<sup>3</sup>:**

$$C = \frac{D\psi QZ}{V_p A},$$

где **D** – коэффициент, учитывающий влияние этажности примагистральной застройки на турбулентность ветрового потока;

Значение поправочного коэффициента **D**

<b>h<sub>ср</sub></b>	<b>Менее 3</b>	<b>3...5</b>	<b>5...7</b>	<b>7...12</b>	<b>12...22</b>	<b>Свыше 22</b>
<b>D</b>	<b>1,00</b>	<b>0,90</b>	<b>0,80</b>	<b>0,70</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>

**ψ** - коэффициент стабильности ветрового потока, учитывающий влияние порывистости ветрового потока (неравномерность его скорости -  $\Delta U$ ) и непостоянство направления его относительно оси магистрали ( $\theta$ ) на изменение концентраций -  $\psi = \frac{\theta}{\Delta U}$ ;

**Q** – интенсивность выброса загрязняющего вещества от потока автомобилей для расчетного периода с учетом неравномерности их движения, мг/м с;

**Z** – параметр, который учитывает снижение концентрации с удалением расчетной точки от края проезжей части на расстояние  $x$ , м<sup>-1</sup>;

Значения параметра **Z**

<b>x, м</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>
<b>Z</b>	<b>1</b>	<b>0,94</b>	<b>0,82</b>	<b>0,76</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,58</b>	<b>0,53</b>	<b>0,5</b>	<b>0,48</b>	<b>0,45</b>	<b>0,4</b>	<b>0,39</b>

<b>26</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>38</b>	<b>40</b>
<b>0,38</b>	<b>0,35</b>	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	<b>0,30</b>	<b>0,29</b>	<b>0,28</b>	<b>0,27</b>

**V<sub>p</sub>** – расчетная скорость ветрового потока, м/с;

**A** – коэффициент ажурности, учитывающий влияние плотности застройки примагистральной территории относительной протяженности разрывов  $\Delta l$ :

Плотность застройки	$\Delta I, \%$	$A$
Очень плотная	10...19	0,59...0,71
Плотная	20...29	0,72...0,82
Средней плотности	30...39	0,82...0,90
Малой плотности	40...49	0,90...0,97
Свободная	50...60	0,97...1,00
Открытое пространство	Свыше 60	1,00

12. Для расчета концентраций  $CO$  может быть использована формула Джонсона, в которой улица рассматривается как каньон.

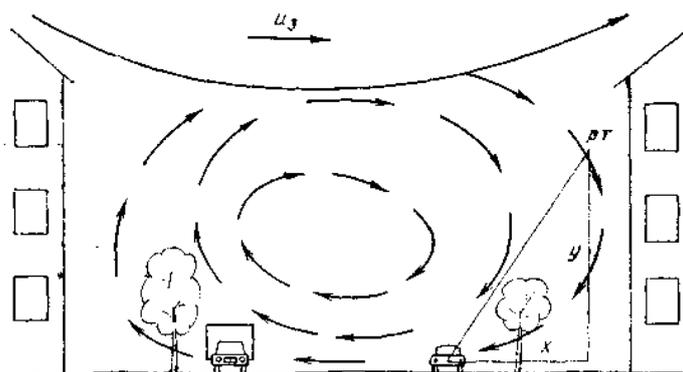


Рис. 2.9. Схема ветровых потоков на городской улице-каньоне

На подветренной стороне магистрали -  $C_1 = \left[ \frac{0,08N}{(0,5 + U_3)(2 + \sqrt{x^2 + y^2})} \right]$ .

На наветренной стороне магистрали -  $C_2 = \left[ \frac{0,08N}{B_{ул}(0,5 + U_3)} \right]$ ,

где  $N$  – интенсивность движения ТС по магистрали в обоих направлениях, авт./ч;

$x$  и  $y$  – координаты расчетной точки РТ, м;

$B_{ул}$  – ширина магистрали в линиях застройки, м;

$U_3$  – скорость ветрового потока на уровне крыш магистральной застройки, м/с:

$$U_3 = U_0 \left( \frac{H_3}{10} \right)^m,$$

где  $U_0$  – скорость ветра на метеостанции на уровне 10 м, м/с;

$H_3$  – средняя высота примагистральной застройки, м.;

$m$  – коэффициент, учитывающий влияние погодных-климатических условий.

### 13. Концентрация СО и других токсичных компонентов ОГ автомобилей на перекрестках городских магистралей:

$$C_{пер} = C_1 \left( 1 + \frac{N_1}{N_2} \right),$$

где  $C_1$  – максимальная концентрация токсичного вещества в воздухе главной магистрали, мг/м<sup>3</sup>;

$N_1$  и  $N_2$  – интенсивность движения ТП соответственно по главной и второстепенной магистралям, авт./ч.

Изменение интенсивности движения ТП в городах по часам суток, дням недели, месяцам приводит к неравномерному выбросу загрязняющих веществ в атмосферу. Для практических целей можно использовать следующие условия:

- если среднегодовую концентрацию загрязняющих веществ в данной точке населенного пункта принять за 1, то максимальная среднемесячная концентрация в той же точке составит 2,5, максимальная среднесуточная – 6,3 и максимально разовая (30-минутная) – 15;
- если максимально разовую концентрацию (за 30 минут наибольшей загрузки) в данной точке города принять за 1, то максимальная среднесуточная концентрация составит 0,42, максимальная среднемесячная – 0,167 и среднегодовая – 0,067.

При наличии в атмосферном воздухе нескольких токсичных веществ их относительная суммарная концентрация не должна превышать единицы:

$$\sum_{i=1}^I \frac{C_i}{ПДК_i} \leq 1 \text{ или } \frac{C_{CO}}{ПДК_{CO}} + \frac{C_{NO_x}}{ПДК_{NO_x}} + \frac{C_{CnHm}}{ПДК_{CnHm}} \leq 1,$$

где  $C_i$  – концентрация соответствующих вредных веществ в атмосферном воздухе в одной и той же расчетной точке, мг/м<sup>3</sup>;

$ПДК_i$  – ПДК соответствующих вредных веществ, мг/м<sup>3</sup>.

Приведенное соотношение может быть представлено и в виде:

$$\sum_{i=1}^I C_i \frac{ПДК_{CO}}{ПДК_i} \leq ПДК_{CO}.$$

В данном случае за основной токсичный компонент принята окись углерода (СО). Эта формула может быть записана в виде:

$$\sum_{i=1}^I C_i K_{np.li} \leq ПДК_{CO},$$

где  $K_{np.li} = \frac{ПДК_{CO}}{ПДК_i}$  - коэффициент приведения к окиси углерода (СО).

При определении ущерба от загрязнения атмосферы используют коэффициент приведения к окиси углерода (СО), но с учетом дополнительных факторов:

$$K_{np.2i} = a_i \cdot \alpha_i \cdot \delta_i \cdot \lambda_i \cdot \beta_i,$$

где  $a_i$  – показатель относительной опасности присутствия примеси в воздухе:

$$a_i = \left[ \frac{ПДК_{CO}^{(C)} \cdot ПДК_{CO}^{(P)}}{ПДК_i^{(C)} \cdot ПДК_i^{(P)}} \right]^{0.5} = \left[ \frac{60}{ПДК_i^{(C)} \cdot ПДК_i^{(P)}} \right]^{0.5},$$

где  $ПДК_i^{(C)}$  - среднесуточная ПДК, мг/м<sup>3</sup>;

$ПДК_i^{(P)}$  - ПДК токсичных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м<sup>3</sup> .;

$\alpha_i$  – поправка, учитывающая вероятность накопления вредного вещества в атмосферном воздухе, а также поступления его в организм человека ( $\alpha=1...5$ );

$\delta_i$  – коэффициент, учитывающий воздействие вредных веществ на различные реципиенты (живые организмы), помимо человека ( $\delta=1...2$ );

$\lambda_i$  – коэффициент, учитывающий вторичный выброс примеси в атмосферу после ее оседания на поверхности ( $\lambda=1,0...1,2$ );

$\beta_i$  – коэффициент, учитывающий вероятность образования при участии исходных вредных веществ, выброшенных в атмосферу, других (вторичных) вредных веществ, более опасных, чем исходные ( $\beta=1...5$ ).

Значения коэффициента приведения  $K_{np.2}$  для различных веществ следующие:

Окись углерода	1,0
Сернистый ангидрид	22,0
Окись азота в пересчете по массе на NO <sub>2</sub>	41,1
Летучие низкомолекулярные углеводороды	3,16
Фенол	310,0
Бенз(а)пирен	12,6*10 <sup>5</sup>
Двуокись кремния	83,2
Сажа без примесей	41,5

Твердые частицы, выбрасываемые ДВС, работающим на неэтилированном бензине \_\_\_\_\_ 300  
 То же на этилированном бензине \_\_\_\_\_ 500  
 То же для ДД \_\_\_\_\_ 200  
 При оценке социально-экономического ущерба от загрязнения атмосферы городов и промышленных центров учитывают эквивалентную массу  $M$ , вредных веществ, поступающих в атмосферу:

$$M_{\text{э}} = \sum_{i=1}^I M_i K_{\text{пр.3i}},$$

где  $M_i$  – масса  $i$ -х вредных веществ, поступающих в атмосферу;

$$K_{\text{пр.3i}} \text{ – коэффициент приведения: } K_{\text{пр.3i}} = \frac{\bar{C}_i \text{ПДК}_{\text{CO}}^{(C)}}{(\text{ПДК}_i^{(C)})^2},$$

где  $\bar{C}_i$  - среднесуточная концентрация  $i$ -го вредного вещества, мг/м<sup>3</sup>;

$\text{ПДК}_i^{(C)}$  и  $\text{ПДК}_{\text{CO}}^{(C)}$  - предельно допустимые среднесуточные концентрации  $i$ -го вещества и окиси углерода соответственно, мг/м<sup>3</sup>.

Допустимое изменение концентрации  $\text{CO}$  в зависимости от продолжительности (экспозиции) его воздействия с целью предупреждения образования концентраций карбоксигемоглобина в крови человека, превышающих 2,5 – 3% у некурящего населения:

Экспозиция, ч	0,25	0,5	1,0	8,0	24,0
Концентрация $\text{CO}$ , мг/м <sup>3</sup>					
- рекомендуемое ВОЗ	115	55	29	15	11,5
- нормативы СССР	--	5	--	--	1

Соотношение между концентрацией  $\text{CO}$  в атмосферном воздухе и временем, необходимым для достижения уровня 4% карбоксигемоглобина в крови человека:

Концентрация $\text{CO}$ , мг/м <sup>3</sup>	117	35	29
Экспозиция, ч	1	8	24

В зависимости от концентрации  $\text{CO}$ , выделяют следующие степени загрязнений:

Легкая	0...7	Серьезная	41...53
Слабая	8...13	Очень серьезная	54...67
Умеренная	14...27	Угрожающая	68...80
Значительная	28...40	Опасная	Более 80

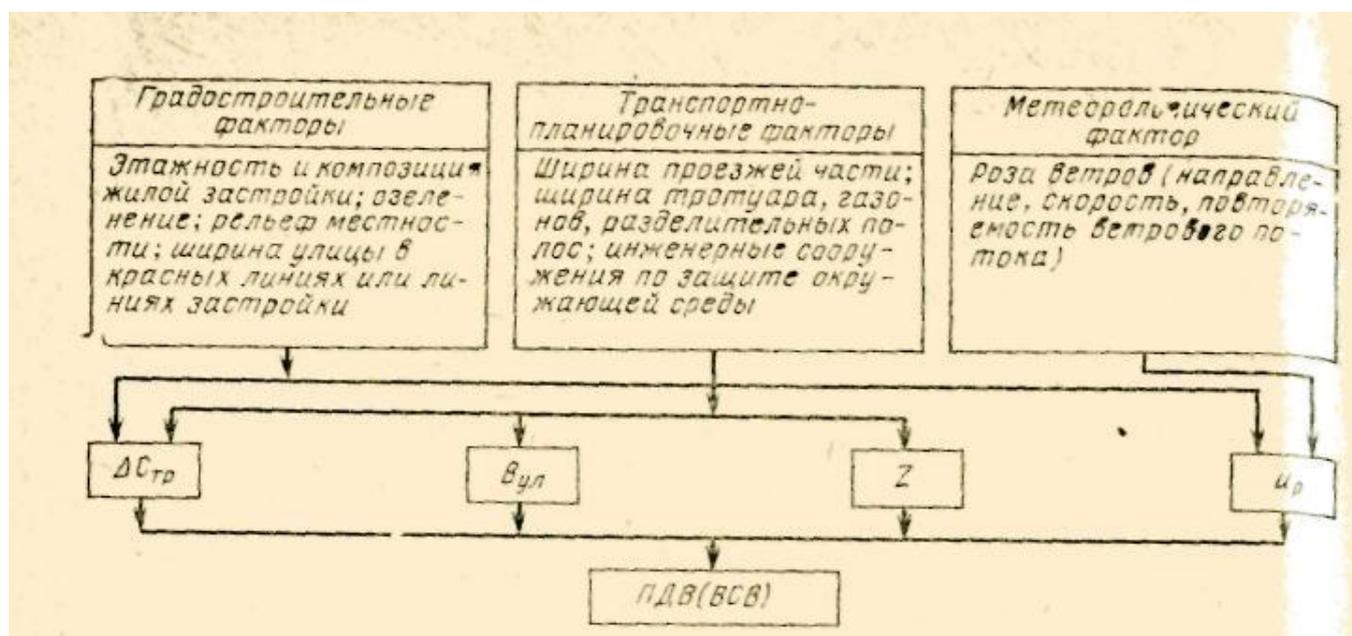
**Для обеспечения необходимых условий проживания городского населения необходимо предусматривать различные мероприятия по снижению степени загазованности воздуха. Если на первую очередь реализации генплана можно обойтись совершенствованием ОДД, то на расчетный срок необходимо разработать все возможные мероприятия градостроительного, инженерного, управленческого и другого характера.**

### **Вопрос 4. Расчет предельно допустимого выброса (ПДВ) вредных веществ транспортными потоками**

ПДВ – количество токсичных веществ, выбрасываемых в единицу времени вместе с ОГ автомобилей, которое в сумме с выбросами от других источников города (промышленных предприятий, теплоэлектростанций, котельных) не создает концентрации токсичных веществ в атмосферном воздухе, превышающих предельно допустимые значения.

Временно согласованным выбросом (ВСВ) от АТ является такой выброс ОГ, при котором концентрация токсичных компонентов от автомобилей и других источников выброса достигает определенного значения (более ПДК), но которая не может быть снижена в данный период времени по техническим или экономическим причинам. Обоснование ВСВ делается по нескольким периодам с последовательным снижением расчетной концентрации токсичных веществ в атмосферном воздухе и доведением ее до предельно допустимого значения, то есть до обеспечения санитарных нормативов.

Схема взаимосвязи исходных факторов и параметров расчета ВСВ.



$\Delta C_{тр}$  – допустимая концентрация токсичного вещества в воздухе от ТП, мг/м<sup>3</sup>;  
 $V_{ул}$  – ширина магистрали в линиях застройки, м;  $Z$  – величина удаления от линейного источника выброса, м;  $U_p$  – расчетная скорость ветрового потока, м/с.

Допустимая загазованность атмосферного воздуха от АТ.

$$\Delta C_{mp} \leq C_{ПДК} - C_{cm},$$

где  $C_{ПДК}$  – ПДК рассматриваемого вещества в воздухе, мг/м<sup>3</sup>;

$C_{cm}$  – концентрация этого токсичного вещества в приземном слое воздуха от стационарных источников, мг/м<sup>3</sup>.

Оценивать уровень загазованности предприятиями промышленности и энергетики можно на основе карт загазованности территории города, рассчитанных по данным о выбросе вредных примесей от каждого стационарного источника, повторяемости, скорости и направлении ветрового потока.

Если в рассматриваемой зоне города уровень загазованности атмосферного воздуха от выбросов промышленных предприятий превышает допустимый уровень, возможная загазованность атмосферного воздуха в этом случае:

$$\Delta C_{mp} = C_{вр} - C_{cm},$$

где  $C_{вр}$  – временно согласованная концентрация токсичного вещества в воздухе, мг/м<sup>3</sup>.

При расчете ПДВ (ВСВ) решают задачи:

1) Определение наиболее неблагоприятных по загазованности участков города.

С этой целью необходимо:

1.1 предварительно проанализировать данные гидрометобсерваторий о состоянии загазованности воздуха;

1.2 разбить территорию города на транспортно-планировочные подрайоны (ТПП), включающие жилую застройку, магистрали и участки общественных учреждений. Размер ТПП должен составлять 2...4 км<sup>2</sup>;

1.3 выявить наиболее неблагоприятные по загрязнению воздуха ТПП.

2) В неблагоприятных ТПП:

2.1 установить виды стационарных источников, загрязняющих Ос и уровень выбросов по ним;

2.2 проанализировать загрузку магистралей (интенсивность и состав движения ТС), характер прилегающей застройки и ее назначение (ширина улиц, этажность застройки, разрывы между зданиями, характеристика аэрации застройки, функциональное использование зданий и т.п.);

2.3 составить маршруты движения передвижной лаборатории по УДС ТПП;

2.4 выявить наиболее неблагоприятные участки магистрали;

- 2.5 проранжировать «опасные» участки сети по степени их загазованности;
- 2.6 на плане города отметить наиболее неблагоприятные зоны и участки УДС;
- 2.7 рассчитать ПДВ (ВСВ) от АТ.

Снижение уровня загазованности атмосферного воздуха может быть достигнуто:

- 1) Строительством инженерных сооружений по защите окружающей среды.

#### Инженерные сооружения по защите окружающей среды

Вид защитного сооружения	Размер сооружения, м (высота)	Размер зоны защиты, м	Снижение загазованности, $\Delta C_{зс}$ , %
Экран-стенка	2	11...13	42...44
	4	33...36	45...50
	6	55...60	50...55
Уступ типа А (снижение рельефа по направлению ветра)	2	11...12	25...28
	6	33...36	62...67
	10	55...60	75...90
Уступ типа Б (повышение рельефа по направлению ветра)	2	11...12	32...34
	4	33...36	65...70
	6	55...60	80...85
Земляная насыпь	2	11...12	37...43
	4	33...36	40...45
	6	55...60	45...50
Проезжая часть на насыпи	2	11...12	32...38
	6	33...36	35...45
	10	55...60	40...50
Стенка на насыпи	2/2*	22...24	44...46
	2/4	33...36	45...50
	4/2	33...36	46...50
	4/4	44...48	47...52
	4/6	55...60	48...52
Зеленые насаждения (ширина полосы)	5	50...60	22...26
	10	65...75	53...60
	20	70...85	60...70
Здания	15/5**	80...90	53...62
	27/9	150...165	65...80
	36/12	200...220	70...95
	48/16	260...290	80...95

\* В числителе – высота стенки; в знаменателе – высота насыпи;

\*\* В числителе высота здания; в знаменателе – число этажей.

2) Посадкой зеленых насаждений. Наибольшим эффектом обладает многоярусная плотная посадка древесно-кустарниковых насаждений в сочетании с открытыми пространствами (газонами).

В зависимости от типа посадок зеленых насаждений снижение уровня загазованности  $\Delta C_{зс}$  в летнее время, %:

- однорядные посадки деревьев с кустарниками высотой 1,5 м. на полосе шириной 3...4 – 10...15%.
- двухрядная посадка деревьев без кустарников на полосе шириной 8...10 – 10...20%.
- трехрядная посадка деревьев с двумя рядами кустарников на полосе шириной 15...20 – 40...50%
- четырехрядная посадка деревьев с кустарниками высотой 1,5 м. на полосе шириной 30...50 – 60...70%.

3) Градостроительными методами:

- строительством жилых зданий на соответствующем расстоянии от автомагистралей;
- строительством транспортных развязок на разных уровнях, тоннелей и пешеходных переходов;
- расширением магистралей и развитием улично-дорожной сети;
- строительством объездных дорог для транзитного автотранспорта;
- прокладкой дорог мимо заповедных зон и исторических памятников.

4) Административно-организационными методами:

- организацией одностороннего движения на участках городской застройки с узкой проезжей частью, имеющих сложившийся характер планировки;
- выделением в центральной части городов территорий с запретом или ограничением на движение большегрузного автотранспорта;
- внедрением автоматизированных систем управления дорожным движением т.п.

5) Техничко-технологическими методами:

- повышением экономичности двигателей;
- снижением массы конструкций и токсичности отработавших газов (нейтрализаторы выхлопных газов, фильтры, присадки к топливу);

- использованием экологически чистых видов топлива;
  - применением комбинированных источников энергии.
- 6) Нормативно-правовыми методами, включающими мероприятия по установлению норм выбросов загрязняющих веществ и норм платы за выбросы загрязняющих веществ и др. виды вредного экологического воздействия, по введению экологических налогов и штрафов, формированию финансовых средств на природоохранные цели.
- 7) Методами ОДД.

При расчете допустимой концентрации токсичных веществ, выбрасываемых с ОГ автомобилей на жилую застройку, необходимо учитывать возможное снижение уровня концентрации зелеными насаждениями и инженерными защитными сооружениями:

$$\Delta C_{mp} = \frac{C_{ПДК} - C_{см}}{1 - \sum \Delta C_{zc} / 100} \cdot$$

### **Вопрос 5. Определение аэрационных характеристик примагистральных территорий**

Аэрацией называют естественный воздухообмен.

По данным гидрометобсерваторий и справочной литературы на расчетный период принимается 1) роза ветров – данные о скорости, повторяемости и направлении ветрового потока.

Направление и скорость ветрового потока в наиболее неблагоприятный период определяется следующим образом.

#### **Пример определения расчетной скорости и направления ветрового потока**

Характеристики по периодам	Показатели при соответствующем направлении ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
<b><u>Зима (январь)</u></b>								
Повторяемость, %	20	14	1	2	26	23	11	6
Место	3	4	8	7	1	2	5	6
Ср. скорость ветра, м/с	5,8	5,6	4,1	3,8	7,2	8,1	7,4	5,4
Место	5	4	2	1	6	8	7	3
Сумма мест	8	8	10	8	7	10	12	9
<b><u>Лето (июль)</u></b>								
Повторяемость, %	20	16	4	3	8	13	14	22
Место	2	3	7	8	6	5	4	1
Ср. скорость ветра, м/с	5,6	5,4	4,6	4,0	4,7	4,9	5,9	6,0
Место	6	5	2	1	3	4	7	8
Сумма мест	8	8	9	9	9	9	11	9

В зависимости от процента повторяемости ветра каждому направлению присваивают определенное место. При этом первое место присваивают направлению с наибольшей повторяемостью, последнее – с наименьшей. Аналогичным образом ранжируют скорости ветрового потока по направлениям. Первое место присваивают направлению ветра с наименьшей скоростью, последнее – с наибольшей. За расчетное направление ветрового потока с расчетной скоростью принимают такое направление, у которого сумма мест по этим двум показателям является наименьшей. При одинаковой

сумме мест различных направлений, за расчетное следует принимать направление ветра с наименьшей скоростью.

Плотная застройка промышленными и жилыми зданиями в условиях города приводит к повышению температуры воздуха – созданию 2) городского острова тепла - разогретых стен жилых и промышленных зданий, которые формируют потоки воздуха от периферии города к его центру со скоростью 0,5...2 м/с.

Зависимость максимальной температуры городского острова тепла  $\Delta T_{гор}$  от численности населения  $N_{гор}$ :

- для городов северной Америки (США и Канады):

$$\Delta T_{гор} = 3,60 \lg N_{гор} - 6,79,$$

- для крупнейших городов Западной Европы:

$$\Delta T_{гор} = 2,01 \lg N_{гор} - 4,06. \quad (1)$$

Соотношение между температурой острова тепла и скоростью ветрового потока на высоте 10 м. за городом описывается эмпирической зависимостью:

$$U_n = \left[ \frac{N^{0,25}}{4\Delta T_{гор}} \right]^2. \quad (2)$$

Совместное использование формул (1) и (2) позволяет определить минимальную скорость ветрового потока  $U_{min}$  при наличии острова тепла:

$N_z$ , тыс.чел	50	100	250	500	1000	2000
$\Delta T_{гор}$ , град	5,4	6,0	6,8	7,4	8,0	8,6
$U_{min}$ , м/с	0,48	0,55	0,68	0,81	0,98	1,20

### 3) Расчетная скорость ветрового потока в заданной точке города, м/с:

$$U_p = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 K_{\alpha 1} K_{\alpha 3} K_h U_0,$$

где  $\alpha_1, \dots, \alpha_4$  – коэффициенты трансформации, учитывающие соответственно рельеф местности, расположение магистрали в плане города, тип зданий и композицию жилой застройки, подстилающую поверхность и озеленение;

$K_{\alpha 1}$  и  $K_{\alpha 3}$  – поправочные коэффициенты, учитывающие изменение коэффициентов  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$  при изменениях направления ветра;

$K_h$  – поправочный коэффициент, учитывающий изменение высоты расположения расчетной точки (1,5...2 м.);

$U_0$  – скорость ветрового потока на метеостанции на высоте 10...12 м., м/с.

При слабой проветриваемости принимают – 0,5 – 1 м/с.

### Коэффициенты трансформации $\alpha_1$

Схема рельефа	Коэффициент $\alpha_1$ для точек		
	I (подветренная сторона)	II (центр)	III (заветренная сторона)
Холм	0,40...0,60	1,00...1,10	0,40...0,60
Гряда	0,80...0,90	1,15...1,25	0,50...0,75
Уступ типа:			
- А	1,0...1,10	--	0,50...0,60
- Б	0,80...1,00	--	0,80...1,0
Выемка типа:			
- А	0,80...1,0	--	1,0...1,10
- Б	1,0...1,10	--	1,00

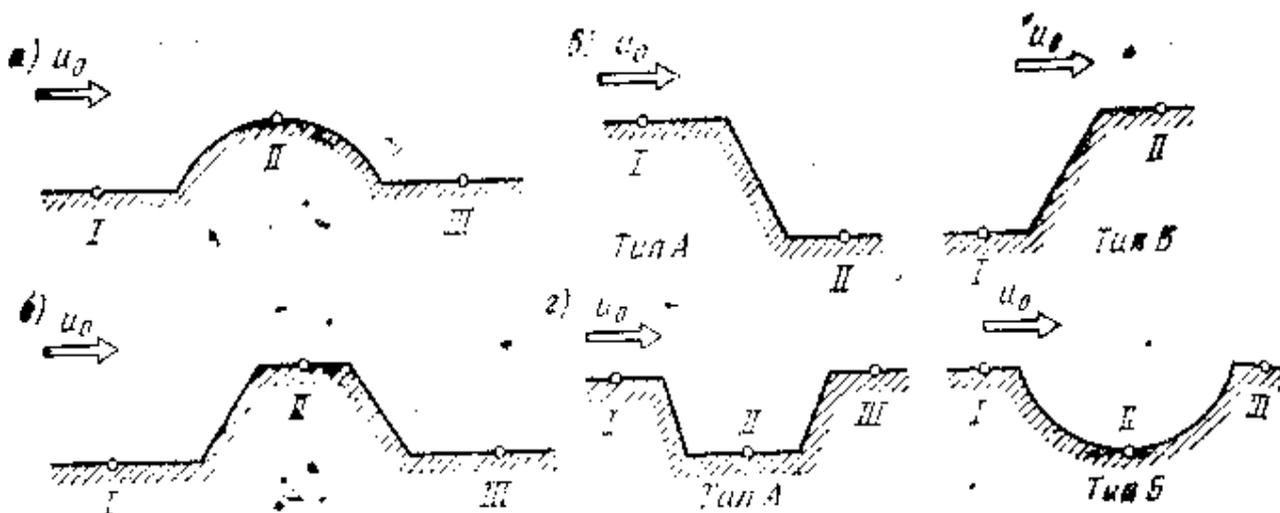


Рис. 2.13. Схемы рельефа местности:  
а – холм; б – гряда; в – уступ; з – выемка

I – на подветренной стороне рельефа;

II – в центре;

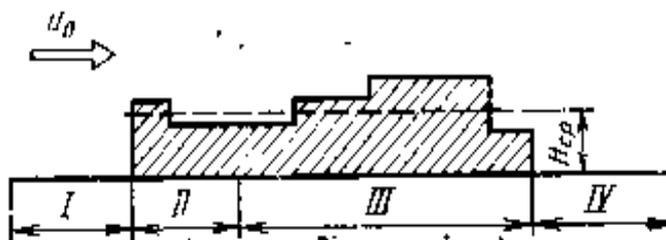
III – на заветренной стороне рельефа.

Коэффициент трансформации  $\alpha_2$  принимают в соответствии с глубиной

зоны:

Зона города	I	II	III	IV
Размеры зоны (в долях от средней этажности застройки - $H_{cp}$ ), м	17...18	34...36	27...32	20...25
Коэффициент $\alpha_2$	0,35...0,90	0,80...0,85	0,70...0,75	0,70

2.14. Схема зонирования городской территории:  
I—IV — зоны



### Значение коэффициента трансформации $\alpha_3$

Композиция жилой застройки	Коэффициент $\alpha_3$ для точек	
	I (перед жилым массивом)	II (за жилым массивом)
Линейная этажность:		
5	0,55-0,60	0,50-
9	0,45-0,50	0,45
12	0,40-0,50	0,40
16	0,35-0,45	0,38
20	0,30-0,40	0,35
Торцевая	0,90-0,95	0,85-0,90
Линейная с разрывами, % разрывов		
10	0,65-0,70	0,60-0,65
20	0,70-0,75	0,70-0,75
30	0,75-0,80	0,75-0,80
Тип здания	Коэффициент $\alpha_3$ для точек	
	I (перед зданием)	II (за зданием)
Линейная этажность:		
5	0,75-0,80	0,55-0,60
9	0,70-0,75	0,50-0,55
12	0,60-0,65	0,45-0,50
16	0,50-0,55	0,40-0,45
20	0,40-0,45	0,35-0,40
Плоский параллелепипед	0,60	0,40
Башенный	0,65-0,70	0,45-0,50
С открытым первым этажом	0,85-0,90	0,80-0,85

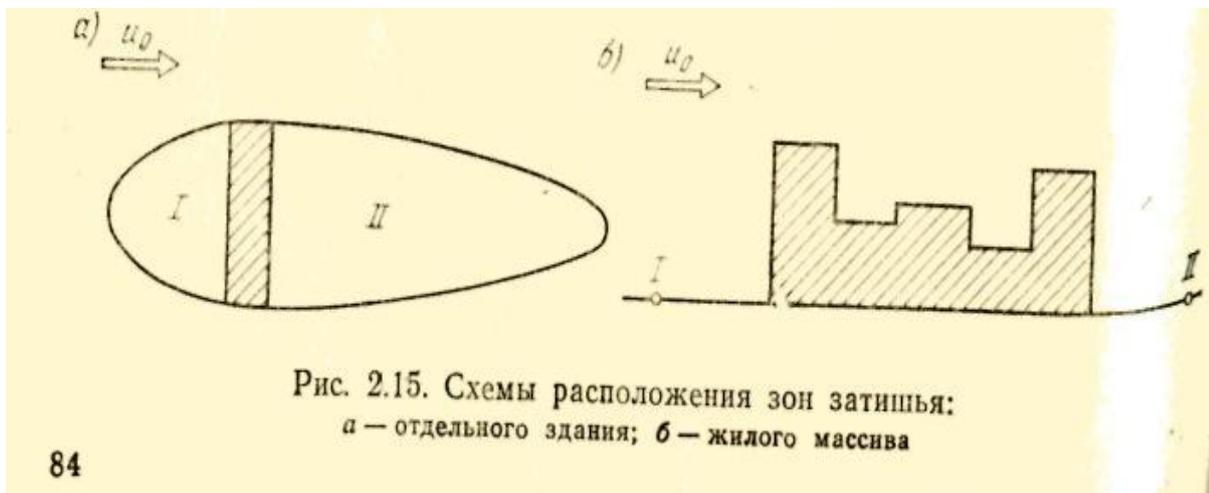


Рис. 2.15. Схемы расположения зон затишья:  
 а — отдельного здания; б — жилого массива

84

**Значение коэффициента трансформации  $\alpha_4$ :**

Газоны	_____	1,00
Асфальтированные проезды и тротуары	_____	1,40
Площади, посыпанные песком	_____	1,30
Кустарник высотой, м		
- до 0,5	_____	0,70
- до 1,0	_____	0,50
Деревья:		
- одnorядная посадка	_____	0,95
- двухрядная посадка с двухрядным кустарником	_____	0,75
- двухрядная посадка	_____	0,90
- трехрядная посадка с двухрядным кустарником	_____	0,70
- четырехрядная посадка с двухрядным кустарником	_____	0,65
- снежный покров	_____	1,40

## Лекция 12

Коэффициенты трансформации  $\alpha_1$  и  $\alpha_3$  вычислены при направлении ветрового потока  $90^\circ$  (поперек рельефа, застройки). Для корректирования этих коэффициентов используют поправочные коэффициенты.

Поправочные коэффициенты  $K\alpha_1$  и  $K\alpha_3$ 

Форма рельефа и тип здания	Коэффициенты $K\alpha$ при направлении ветрового потока под углом $Z$ , град		
	90 (поперек магистрали)	45 (под углом к магистрали)	0 (вдоль магистрали)
<b><math>K\alpha_1</math></b>			
Гряда:			
- до возвышенности	1,00	1,05-1,10	1,05-1,10
- поверх возвышенности	1,00	0,90-0,95	1,00
- после возвышенности	1,00	1,20-1,40	1,20-1,40
Уступ	1,00	0,90-0,95	1,00
Выемка	1,00	1,30-1,50	0,95-1,0
Холм	1,00	1,00	1,00
<b><math>K\alpha_3</math></b>			
Линейный	1,00	1,30-1,50	1,10-2,00
Башенный	1,00	0,95-1,00	1,00
С открытым первым этажом	1,00	1,20-1,40	1,00

Коэффициенты  $\alpha_2$  и  $\alpha_4$  постоянны при любом направлении ветра.

Поправочный коэффициент, учитывающий изменения высоты расчетной точки:

$$K_h = \frac{U_H}{U_h} = \left( \frac{h}{H} \right)^n,$$

где  $U_H$  – скорость ветрового потока по данным метеостанции, измеренная на высоте  $H=10...12$ , м/с;

$U_h$  – скорость ветрового потока на высоте  $h=1,5...2$  м приземного слоя, м/с.

Показатель n	Значение коэффициента $K_h$ в зависимости от высоты точки приземного слоя, м		Показатель n	Значение коэффициента $K_h$ в зависимости от высоты точки приземного слоя, м	
	1,5	2,0		1,5	2,0
0,05	0,91(0,90)	0,92(0,91)	0,55	0,35(0,32)	0,41(0,37)
0,10	0,83(0,81)	0,85(0,84)	0,60	0,32(0,29)	0,38(0,34)
0,15	0,75(0,73)	0,76(0,76)	0,65	0,29(0,26)	0,35(0,31)
0,20	0,68(0,66)	0,725(0,70)	0,70	0,27(0,23)	0,32(0,29)
0,25	0,62(0,59)	0,67(0,64)	0,75	0,24(0,21)	0,30(0,26)
0,30	0,57(0,54)	0,62(0,58)	0,80	0,22(0,19)	0,28(0,24)
0,35	0,51(0,48)	0,57(0,52)	0,85	0,20(0,17)	0,25(0,22)
0,40	0,47(0,44)	0,53(0,49)	0,90	0,18(0,15)	0,23(0,20)
0,45	0,43(0,39)	0,48(0,45)	0,95	0,16(0,14)	0,22(0,18)
0,50	0,39(0,35)	0,45(0,41)	1,00	0,15(0,13)	0,20(0,17)

Примечание: Значение коэффициентов получены при высоте замеров на метеостанции 10(12)м.

**4) Вертикальный профиль скорости ветра** описывается уравнениями(Windspeedprofil) –зависимость скорости ветра по высоте в приземном слое, определяемая для конкретной местности на основе измерений скорости ветра на различной высоте относительно земной поверхности:

$$U = U_1 \left( \frac{Z}{Z_1} \right)^n,$$

$$U = U_1 \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_1}{Z_0}\right)},$$

где  $U_1$  – скорость ветра на высоте  $Z$  (обычно на метеостанции на высоте 10 метров);

$Z_0$  – шероховатость подстилающей поверхности (этажность жилой застройки):

Шероховатость  $Z_0$  для некоторых поверхностей и городов следующая, м:

Снег	0,0005
Оголенная почва	0,005
Травы высотой 2...30 м.	0,01
С/Х культуры	0,05
Лес	1,00
Застройка городов	0,5...5,0
Сельская местность	0,01

Пригород	0,25...0,50
Центр города	1,00...3,000

Шероховатость приблизительно может быть принята:  $Z_0 = (0,10...0,14)H_{застр}$ ,

где  $H_{застр}$  – высота застройки, м.

$n$  – показатель степени.

Показатель  $n$  зависит от класса устойчивости атмосферы и шероховатости  $Z_0$ .

Шероховатость $Z_0$ , м.	Оценка показателя степени $n$ при классе устойчивости					
	1	2	3	4	5	6
0,1	0,05	0,06	0,07	0,12	0,32	0,53
0,05	0,07	0,07	0,09	0,15	0,33	0,53
0,10	0,08	0,09	0,11	0,16	0,34	0,54
0,30	0,10	0,11	0,14	0,20	0,35	0,56
0	0,12	0,13	0,16	0,23	0,37	0,58
1	0,17	0,17	0,20	0,27	0,38	0,61
3	0,27	0,28	0,31	0,37	0,47	0,69
5	0,35	0,36	0,39	0,44	0,54	0,74
7	0,43	0,44	0,46	0,51	0,61	0,84
10	0,48	0,50	0,51	0,57	0,69	0,95

Соотношение между показателем степени  $n$  и шероховатостью  $Z_0$ :  $n = 0,12Z_0 + 0,18$ .

Для оценки состояния атмосферы вводится классификация устойчивости приземного слоя высотой 50...100м по Пасквиллу. Рассматривают классы устойчивости:

- 1...3-й классы относятся соответственно к состоянию сильной, умеренной и слабой устойчивости;
- 4-й к равновесному или безразличному состоянию;
- 5-й и 6-й классы – к состоянию слабой и умеренной устойчивости.

Каждому классу устойчивости воздуха соответствует определенное значение скорости ветра (на метеостанции на высоте 10 метров), степени инсоляции, высоты солнца ( $h_0$ ), количества нижней, верхней и общей облачности ( $n_b, n_H, n_0$ ). При оценке класса устойчивости атмосферы учитывают и время суток (день, ночь), а также промежуточные периоды (рассвет ли вечер).

Скорость ветра на высоте 10м, м/с	Классы устойчивости приземного слоя атмосферы по Пасквиллу				
	Степень инсоляции днем			Облачность ночью, баллы	
	Сильная	Умеренная	Слабая	10 (общая) или более 5 (нижняя)	Менее 4 (нижняя)
Менее 2	1	1-2	2	--	--
2-3	1-2	2	3	5	6
3-5	2	2-3	3	4	5
5-6	3	3-4	4	4	4
Более 6	3	4	4	4	4

Скорость ветра на высоте 10м, м/с	Классы устойчивости приземного слоя при различных метеорологических условиях					
	День			День, ночь	Ночь	
	$h_0 > 60^\circ$	$h_0 = 15 \dots 60^\circ$	$h_0 < 15^\circ$	$n_H = 8 \dots 10$	$n_0 = 5 \dots 8$ или $n_B = 8 \dots 10$	$n_0 < 4$
Менее 2	1	1-2	2-3	4	5-6	6-7
2-3	1-2	2	3	4	5	6
3-5	2	2-3	3	4	4	5
5-6	3	3-4	4	4	4	4
Более 6	3	4	4	4	4	4

Облачностью называют степень покрытия небесного свода облаками. Облачность определяют визуально по 10 – балльной шкале – от 0 до 10 баллов. Совершенно безоблачное небо соответствует 0 баллов, а полное покрытие неба облаками – 10 баллам. Отметки 9, 8, 7 и т.д. соответствуют степени закрытия небосвода облаками в долях (9/10, 8/10, 7/10 и т.д.).

Под инсоляцией обычно понимают приток радиации на горизонт, поверхность. Интенсивность инсоляции выражается количеством энергии, приходящейся в единицу времени на единицу облучаемой поверхности. Инсоляция зависит от высоты Солнца над горизонтом, положения облучаемой поверхности, высоты над уровнем моря, а также от прозрачности атмосферы и от облачности. Поэтому инсоляция сильно меняется как в течение дня, так и от сезона к сезону. Инсоляция определяет тепловое состояние земной поверхности, атмосферы и естественной освещенности на Земле. В конечном итоге от нее зависят общая циркуляция атмосферы и влагооборот на земле, а следовательно и климатические условия Земли. От инсоляции зависят также биофизические и биохимические процессы в растительных и животных организмах.

## **ТЕМА №3. ШУМ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА И ТРАНСПОРТНАЯ ВИБРАЦИЯ**

### **Вопрос 1. Шум одиночного автомобиля и транспортного потока**

Изучение шумового воздействия на окружающую среду начато относительно недавно. Так, в Стокгольме в 1955 г. зафиксировано, что из каждых 100 человек 9 - с потерей слуха, а в 1960 г. их было уже 20, что потребовало разработки ряда мероприятий по уменьшению шума в городе.

Человек способен воспринимать колебания звука в воздушной среде в широчайшем диапазоне –  $10^{-12} \dots 1 \text{ Вт/м}^2$  – частотой 20...20000 Гц. Звуки являются не только носителем полезной информации. Беспорядочные достаточно большой интенсивности звуки – шумы – ведут к утомлению, снижению работоспособности, а при длительном воздействии являются причиной патологических изменений во внутренних органах, нарушения нормального функционирования основных систем организма человека. На производствах, где можно оценить это влияние, установлено, что производительность труда снижается на 30% при повышении уровня шума с 70 до 100 дБ, а процент брака увеличивается в течение рабочей смены, и тем интенсивнее, чем выше уровень шума.

**Действие шума на организм человека может проявляться по следующим трем основным направлениям:**

– **воздействовать на орган слуха.**

В зависимости от уровня, частоты и времени воздействия шум может вызвать:

- мгновенную глухоту или повреждение органа слуха;
- снизить чувствительность слуха на ограниченное время;
- привести к резкому и стабильному снижению чувствительности слуха к звукам определенных частот.
- **воздействовать на функции отдельных органов и систем (сердечнососудистую, пищеварительную, эндокринную, мышечную, вестибулярный аппарат ит.д.);**
- **воздействовать на организм в целом (в частности на высшую нервную деятельность и вегетативные системы).**

Шум большой интенсивности вызывает резонанс в полукружных каналах внутреннего уха — органах равновесия, что приводит к головокружению и тошноте. Акустическим возбуждением сопредельной частотой и амплитудой можно остановить пульсацию сердца. Интенсивный низкочастотный шум затрудняет дыхание.

Звуки средних частот возбуждают колебания в лицевых и черепных костях, и в результате утрачивается ясность мысли, нарушается координация движений конечностей, возникают психологические отклонения, характерными признаками которых являются раздражительность, вспыльчивость, депрессия и т.д.

Инфразвук и низкочастотный слышимый звук возбуждают резонансы во внутренних органах, включая сердце и легкие.

Шум нарушает связь, снижает разборчивость речи, затрудняет восприятие полезных сигналов, что помимо психических раздражений приводит к несчастным случаям, мешает полноценному отдыху, расстраивает сон. Под действием шума в сочетании с другими неблагоприятными факторами (напряженный характер трудовой деятельности, вибрации, нервно-эмоциональная нагрузка и т.д.) обнаруживаются резкие сдвиги биоэлектрической активности коры головного мозга, нарушается механизм регуляции биосинтеза ферментов крови, развивается язвенная болезнь.

Заболевания	Заболевасмость населения в зависимости от уровня шума, %		
	При среднем значении	В пределах допустимого	Выше допустимого
Система кровообращения	16,4	63,5	88,3
Нервная система	59,9	49,8	70,7
Органы кровообращения	89,8	85,4	93,2

В городе человек находится в условиях постоянного звукового дискомфорта. В результате житель современного города теряет остроту слуха к 25 годам (в сельской местности в 60-70 лет).

Транспортный шум является одним из наиболее опасных параметрических загрязнений- 50...80% шумов, настигающих человека в жилой застройке, создают ТП.

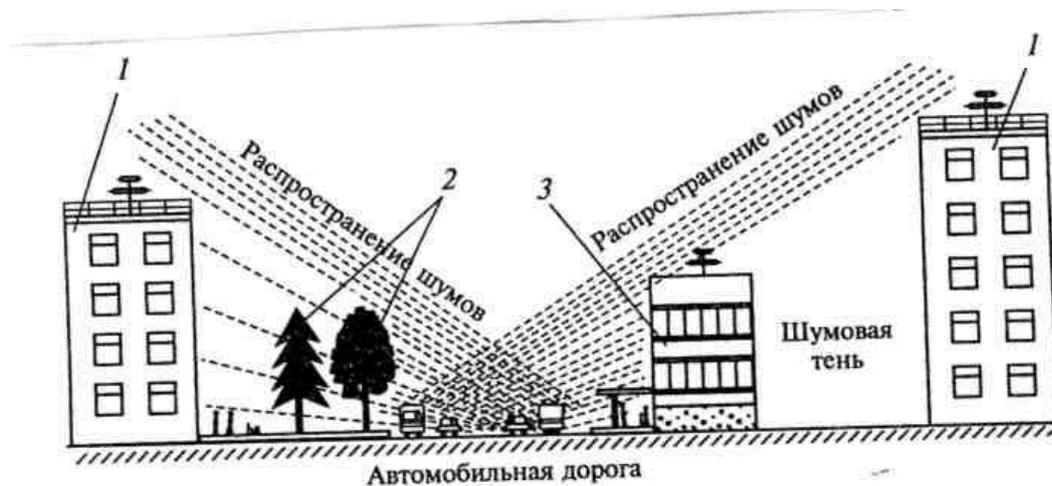


Рис. 9.16. Распространение уличного шума:  
1 — жилые дома; 2 — шумозащитные посадки; 3 — служебные здания

Известный ученый Эдисон писал: «Человек в городах, испытывающий постоянное воздействие шума, стоит перед неизбежностью родиться глухим». Шум от транспорта растет быстрее, чем его скорость!

**По зарубежным данным городской шум связан с:**

- авиацией – 2%;
- промышленностью – 30%;
- транспортом – 45% - скоростной трамвай (80-90 дБ), железная дорога (100-110 дБ)(при повышении скоростей на железной дороге, делают тройное остекление окон, резко снижающее уровень шума внутри вагона), транспорт на магнитной подвеске (до 60 дБ). Тоннели уменьшают уровень шума до 55 – 65 дБ.

**Уровень шума:**

- на скоростных дорогах – 87 дБ;
- на магистралях общегородских с непрерывным движением – 85 дБ;
- на магистральных дорогах с грузовым движением – 84 дБ;
- в интенсивном потоке (до 100000 ед./сутки) – 90 – 95 дБ.

Источниками шума в движущемся автомобиле являются поверхности силового агрегата – двигателя, системы впуска и выпуска, поверхности

агрегатов трансмиссии. Шум возникает также при взаимодействии кузова автомобиля с потоком воздуха при движении, шин с покрытием дороги, колебании элементов подвески и кузова от возмущений дороги и др.

Уровни шума двигателя при нормальном режиме работы – 95 – 118 дБ. Изменение частоты вращения коленчатого вала от минимально устойчивых до максимальных приводит к увеличению шума на 10 – 20 дБ. Увеличение нагрузки влечет рост уровней интенсивности звука у карбюраторных двигателей на 5 – 8 дБ, у дизелей на 2 – 3 дБ.

На уровень шума транспортного потока оказывает влияние целый ряд факторов:

- 1) категория улиц и дорог;
- 2) характеристики транспортных потоков (интенсивность и состав транспортного потока);
- 3) конструктивные особенности дорог (степень ровности, наличие уклонов, эстакад, тоннелей и т.д.) и их техническое состояние;
- 4) различное время суток.

Указанные факторы и их сочетания могут изменить интенсивность шума транспортных потоков на 4—10 дБ.

Нормируется внутренний (в кабине или салоне) и внешний шум автомобиля.

Нормированные значения уровней шума имеют силу закона и отражены в Государственных и отраслевых стандартах, санитарных нормах (СН) и строительных нормах и правилах (СНиП).

При определении предельных норм уровня шума исходят не из комфортных условий труда, а из условий, при которых их воздействие на организм человека незначительно.

## Допустимые уровни внешнего и внутреннего шума автомобиля действующие в стоящее время и перспективные

Категория транспортных средств	Уровень звука, дБА	
	Действующие в настоящее время	Перспективные
<b>Допустимые уровни внешнего шума</b>		
Легковые автомобили	82	80
Автобусы с полной массой, т		
до 3,5 включительно	84	81
свыше 3,5	89	82
Автобусы с двигателем мощностью 162 кВт и выше	91	85
Грузовые автомобили и автопоезда с полной массой, т		
до 3,5 включительно	84	81
свыше 3,5	89	86
свыше 12 и с двигателем мощностью 162 кВт и выше	91	88
<b>Допустимые уровни внутреннего шума</b>		
Легковые автомобили	80	78
Автобусы:		
городские и местного сообщения	85	82
туристские и междугородные	85	80
Грузовые автомобили и автопоезда	85	82

Преобразование энергии в любой машине, в той числе и движущемся автомобиле, связано с ее рассеиванием в окружающем пространстве. Одним из каналов такого рассеивания являются звуковые волны. Они представляют собой колебательное движение частиц упругой среды, возникающие в результате колебания поверхности излучателя и какого либо аэродинамического процесса.

Пространство, в котором существует или распространяется звуковая волна, является звуковым полем. Изменение физического состояния среды в звуковом поле, обусловленное наличием звуковых волн, характеризуется звуковым давлением  $p$  ( $\text{Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ), т.е. разностью между значением полного давления и средним давлением, которое обычно наблюдается в среде при отсутствии звуковых волн.

Звуковые колебания также характеризуются частотой  $f$ , которая определяется через скорость распространения звука  $C$  и длину волны  $\lambda$ :  $f = \frac{C}{\lambda}$ .

Скорость распространения звука в воздухе, например при температуре равной 293К равна 344 м/с.

При распространении звуковых волн распространяется и звуковая энергия. Энергия, переносимая звуковой волной, характеризуется интенсивностью звука. Интенсивность звука  $I$  можно измерить в любой точке поля как поток энергии, приходящейся на единичную площадку:

$$I = \frac{\bar{P}^2}{\rho C},$$

где  $\bar{P}^2$  - среднее квадратичное значение звукового давления в звуковой волне, Н/м<sup>2</sup>;

$\rho$  - плотность среды, в которой распространяется звук, кг/м<sup>3</sup>.

Звуковое давление  $p$  и интенсивность  $I$  звука характеризуют не источник излучения, а звуковое поле.

Для характеристики источника излучения используют полную звуковую мощность  $W$ , излучаемую в окружающее пространство, Вт:

$$W = I \cdot 2\pi \cdot r^2 = \frac{2\pi \cdot r^2 \bar{P}^2_{\varphi}}{\rho \cdot C},$$

где  $\bar{P}^2_{\varphi}$  - среднее по сфере среднее квадратичное значение звукового давления, Н/м<sup>2</sup>;

$r$  – радиус сферы, в точках которой измеряют давление, м.

Звуковая мощность автомобиля сравнительно мала и при  $V=60$  км/ч не превышает 0,8...1,0 Вт.

Значения звукового давления, интенсивности звука и звуковой мощности изменяются в очень широких пределах. Пользоваться абсолютными значениями показателей, имеющих такие широкие пределы изменения, очень неудобно. Поэтому, чтобы облегчить процесс измерения звука и снизить пределы варьирования измеряемых характеристик, применяют относительные показатели, выраженные в логарифмических единицах – децибелах (дБ).

## Лекция 13

Таким образом, шум как совокупность звуков характеризуется количественно и качественно 2 основными показателями:

1. Относительными по отношению к единице сравнения параметрами – уровнем звукового давления и уровнем интенсивности звука. За единицу сравнения для звукового давления принято пороговое давление, значение которого стандартизировано -  $P_0=2 \times 10^{-5}$  Н/м<sup>2</sup>. Для интенсивности звука – пороговая интенсивность -  $I_0=10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> (интенсивность наиболее тихого звука, доступного восприятию человека с острым слухом:). Такая интенсивность звука соответствует пороговому звуковому давлению.

**Уровень интенсивности звука (шума):**

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} = \frac{I}{10^{-12}} = 10 \lg I - 10 \lg I_0 = 10 \lg I - 10(-12) \cdot \lg 10 = 10 \lg I + 120,$$

$I$  – интенсивность звука, Вт/м<sup>2</sup>. Интенсивность звуковой энергии в точке измерения при измеренном уровне шума  $I = 10^{0,1L-12}$ .

Множитель 10 применяется для того, чтобы получить более мелкие единицы измерения шума – десятые доли логарифма или бела. Поэтому единицы измерения шума называются децибелами.

**Уровень звукового давления:**

$$L_P = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{I}{I_0}.$$

2. Спектром, то есть совокупностью частот звуков, составляющих шум

Весь спектр шума (20...20000 Гц) разбит на отдельные участки, называемые октавами. Октава представляет собой полосу частот, в которой конечная частота в 2 раза больше начальной:  $f_K=2f_H$ . Определяют октавы среднегеометрической частотой  $f_{cp} = \sqrt{f_K f_H}$ .

В технике и гигиене принято рассматривать восемь октав со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

## Шумы классифицируются:

### I. По частотной характеристике:

- 1) **тональный шум, в спектре которого имеются ярко выраженные дискретные тона, то есть уровень в одной октаве на 10 дБ выше, чем в другой;**
- 2) **широкополосный с непрерывным спектром более одной октавы.**

Шум автомобиля и ТП является типичным широкополосным шумом. Для оценки воздействия на человека такого шума с учетом особенностей восприятия человеком шума низких и высоких частот применяют частотные корректировки, характеристики которых обозначают буквами А, В, С, D. Характеристика А в наибольшей степени приближает изменение шума к восприятию звука человека и обозначается дБА.

### II. По временной характеристике:

- 1) **постоянный, если уровень звукового давления изменяется во времени не более чем на 5 дБА;**
- 2) **непостоянный, если уровень звукового давления изменяется во времени более чем на 5 дБА.**

Шум ТП всегда относится к длительному непостоянному.

Для оценки негативного воздействия шума на человека за время  $T$  обычно применяют эквивалентный уровень шума  $L_{эkv}$ , дБА:

$$L_{эkv} = 10 \lg \left[ \frac{1}{4} 10^{0,1L_t} (dt) \right]. \quad (1)$$

Этот критерий рекомендован для использования Международной организацией по стандартизации (ISO), а также принят для оценки транспортного шума в ГОСТ 20444-85 «Шум. Транспортные потоки, методы измерения шумовой характеристики».

Автомобиль является очень сложным для точного описания источником шума, поскольку его звуковое поле формируется множеством отдельных источников. Поэтому, шум моделируют.

Моделирование шума базируется на следующих допущениях:

1) Автомобиль рассматривают как единый точечный источник звука и акустические его характеристики определяют экспериментальными методами. Достоверные результаты измерений уровней шума при таком допущении возможны лишь в зоне дальнего поля, то есть на расстоянии 7,5 м от оси движения автомобилей, как этого требует ГОСТ 27436-87 «Внешний шум АТС. Допустимые уровни и методы измерений».

2) Автомобиль является движущим источником.

3) «Идеальности» атмосферы как среды распространения звуковых волн. Плотность, температура, ветер, влажность никогда не являются постоянными в заданном объеме и во времени. Однако воздействие этих факторов на распространение шума незначительно, если путь пробега звуковой волны не велик.

Схема расчета шумовых характеристик ТП выглядит следующим образом:

- выявляют показатели шума всех автомобилей, составляющих поток;
- суммируют шум всех автомобилей по определенному закону.

Процедура суммирования может быть проведена двумя способами.

Первый из них заключается в том, что в данный момент времени в данной точке пространства суммируют уровни или интенсивности звуковой энергии от всех источников. При этом получают значения мгновенных суммарных уровней шума системы:

$$L_{MZH} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0.1L_i - 12} + 120, \quad (2)$$

где  $N$ - число источников шума.

Затем по формуле (1) рассчитывают эквивалентный уровень за определенное время.

Недостатки первого метода:

1. сложности расчетов;
2. необходимость тщательного моделирования движения автомобилей на дороге.

**Второй способ** заключается в суммировании эквивалентных за время  $T$  интенсивностей звуковых энергий отдельных источников:

$$I_{\text{экв ТП}} = \sum_{i=1}^N I_{\text{экви}},$$

где  $I_{\text{экв ТП}}$  и  $I_{\text{экви}}$  - эквивалентная интенсивность звуковой энергии в данной точке за время наблюдения  $T$  соответственно ТП и  $i$ -того автомобиля.

**Эквивалентный уровень шума ТП при интенсивности движения  $N$ :**

$$L_{\text{эквТП}} = 10 \lg \sum_{i=1}^N I_{\text{экви}} + 120.$$