

Установочная лекция с пояснениями практического задания:

Моделирование процессов загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий

**д.б.н., профессор кафедры «Экология»
СГТУ имени Гагарина Ю.А. Антонова Ольга Михайловна**

Экология – наука о взаимодействии живых организмов между собой и с окружающей средой.

Цель экологии как науки – обеспечение общества суммой знаний, достаточных для создания условий для сохранения жизни на планете.

Современный этап развития человеческого общества характеризуется резким обострением экологических проблем:

- истощением природных ресурсов;
- загрязнением и деградацией среды обитания человека;
- ростом экологического сознания и тревоги мировой общественности за судьбу земной цивилизации.

Основные задачи

- Изменить отношение к природе, бережно относиться ко всему живому: природе и человеку, экономить природные ресурсы, перерабатывать отходы.

Реализация национального проекта «Экология» в части создания инфраструктуры для обращения с отходами I-II классов опасности

Мировой тренд – ресурсосбережение и экологичность

Стратегия повышения

- Ресурсосбережение:
- Выстраивание системы центров переработки
- Применение наилучших доступных технологий



Стратегия ограничений

- Снижение выбросов
- Отказ от использования токсичных веществ в промышленности
- Отказ от захоронения



Заводы по переработке в Европе



Создается сеть современных экотехнопарков

7 ЭКОТЕХНОПАРКОВ
по переработке и обезвреживанию
отходов I-II классов



ОБЩАЯ ПРОЕКТНАЯ МОЩНОСТЬ
Порядка **350 000** тонн/год

4 модернизируемые



К концу 2023 года:

- Удмуртская Республика
- Кировская область
- Курганская область
- Саратовская область

3 планируемые



Будут созданы на площадках
к концу 2024 года



Национальный проект «ЭКОЛОГИЯ»

Срок реализации: 01.10.2018 – 31.12.2024 г.г.

Цели:

1. Эффективное обращение с отходами производства и потребления, включая ликвидацию всех выявленных на 1 января 2018 г. несанкционированных свалок в границах городов.
2. Снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах, в том числе уменьшение не менее, чем на 20 % совокупного объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в наиболее загрязненных городах.
3. Повышение качества питьевой воды для населения, в том числе для жителей населенных пунктов, не оборудованных современными системами централизованного водоснабжения.
4. Экологическое оздоровление водных объектов, включая реку Волгу, и сохранение уникальных водных систем, включая озера Байкал и Телецкое.
5. Сохранение биологического разнообразия, в том числе посредством создания не менее 24 новых особо охраняемых природных территорий.
6. Обеспечение баланса выбытия и воспроизводства лесов в соотношении 100% к 2024 г.

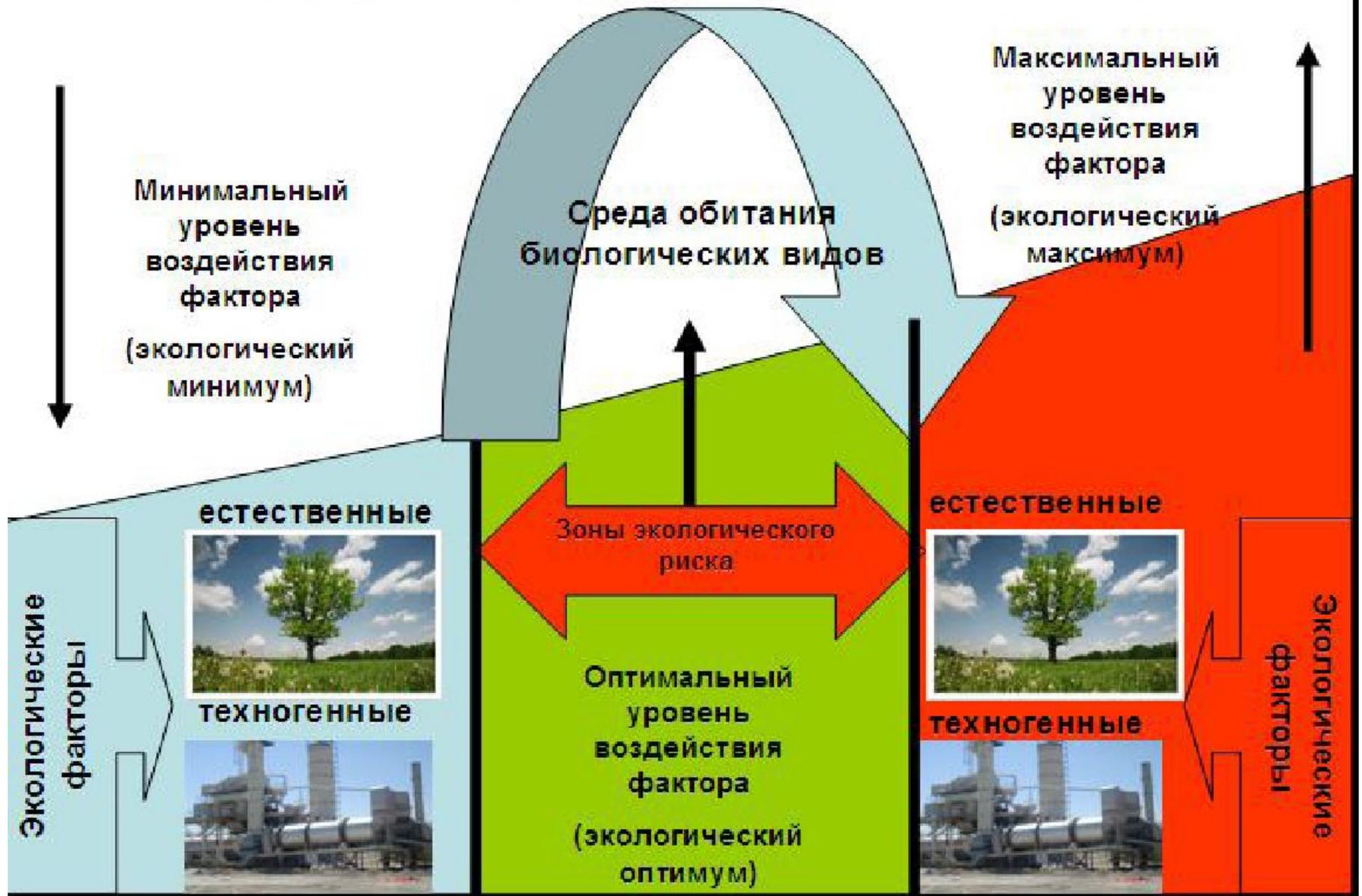
ПОНЯТИЕ ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- **Экологическая безопасность** – комплекс состояний, явлений и действий, обеспечивающий экологический баланс на Земле и в любых ее регионах на уровне, к которому физически, социально-экономически, технологически и политически готово человечество.

Объектами экологической безопасности

- являются геосоциоэкосистемы различного уровня: глобального, национального, регионального, местного, уровня отдельного предприятия или человека, подвергаемые экологическим угрозам, под которыми понимают «прогнозируемые последствия или потенциальные сценарии развития событий катастрофического характера, которые обусловлены изменениями состояния окружающей среды и способны нанести вред жизненно важным интересам личности, общества, государства, мирового сообщества».
- Недостаточность природных ресурсов для обеспечения безопасных условий жизнедеятельности человека обуславливает ухудшение качества предоставляемых человеку средств существования (например, недостаток плодородия почв вызывает их интенсивную химизацию для увеличения объема получаемой в дальнейшем пищи — при этом ухудшается качество продукта, а его употребление сказывается на здоровье людей).

Пределы экологической безопасности



Цель практической работы:

- 1) разработать поведение примеси загрязняющих веществ в атмосфере; установить зависимости уровня концентрации, создаваемой выбросами предприятий, от местоположения источника выбросов, особенностей газовой смеси, выходящей из источника и метеорологических параметров;
- 2) определить расстояния от n – го источника выброса, на котором концентрация i - го вредного вещества достигнет максимального значения;
- 3) разработать комплекс атмосферных мероприятий по снижению уровня концентрации, провести контрольные расчеты, подтверждающие достаточность мероприятия.

Основные понятия

- **Предельно-допустимая концентрация (ПДК)** – количество загрязняющего вещества в окружающей среде (почве, воздухе, воде, продуктах питания), которое при постоянном или временном воздействии на человека не влияет на его здоровье и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.
- **Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДКсс)** – это максимальная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом вдыхании.
- **Предельно допустимая максимальная разовая концентрация** вредного (загрязняющего) вещества в воздухе населенных мест (**ПДКм.р. мг/м**) - это такая концентрация, которая не вызывает рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека.
- **Предельно допустимый выброс (ПДВ) или сброс (ПДС)** – это максимальное количество загрязняющих веществ, которое в единицу времени разрешается данному предприятию выбрасывать в атмосферу или сбрасывать в водоем, не вызывая при этом превышения в них предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и неблагоприятных экологических последствий.

- **Зона повышенной концентрации (ЗПК)** - территория с уровнем концентрации больше одного ПДК.
- **Атмосферные мероприятия** - комплекс организационно-технических решений, направленных на снижение уровня воздействия на воздушный бассейн.
- **Максимально приземный слой** это граница почвы и воздуха (со стороны воздуха). Максимальная концентрация загрязнения (C_{mi}) в приземном слое будет зависеть от дальности

Таблица 1

Выбросы в атмосферу

№ ис-ка	Координаты источника		Параметры источника выброса		Параметры ГВС			Наименование вещества	Фактический выброс, M_i		Факт. концент. C_{mi} мг/м ³	ПДВ _i Т/год	ПДК _i мг/м ³		
									г/с	т/год			Среднесу-т	Макс разовые	Рабочей зоны
Труба-источник	X	Y	Высота, Н, м.	Диаметр устья D, м	Скорость ω_0 м/с	Расход V_1 М ³ /с	Температура выбросов $T_{гвс}$, °С								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	535	530	25	1,2	2,5	2,8	120	Зола	3,9		До очистки		0,02	0,05	70
								Сернистый ангидрид	0,15			0,05	0,5	10	
								Оксид углерода	0,36			3,0	5,0	20	
								Оксиды азота	0,13			0,04	0,085	5	
2	500	500	6,3	0,5	2,14	0,42	30	Пыль неорганическая	0,0056				0,05	0,5	4
3	510	505	8	0,5	2,19	0,43	25	Пыль неорганическая	0,8				0,05	0,5	4

Методика расчета

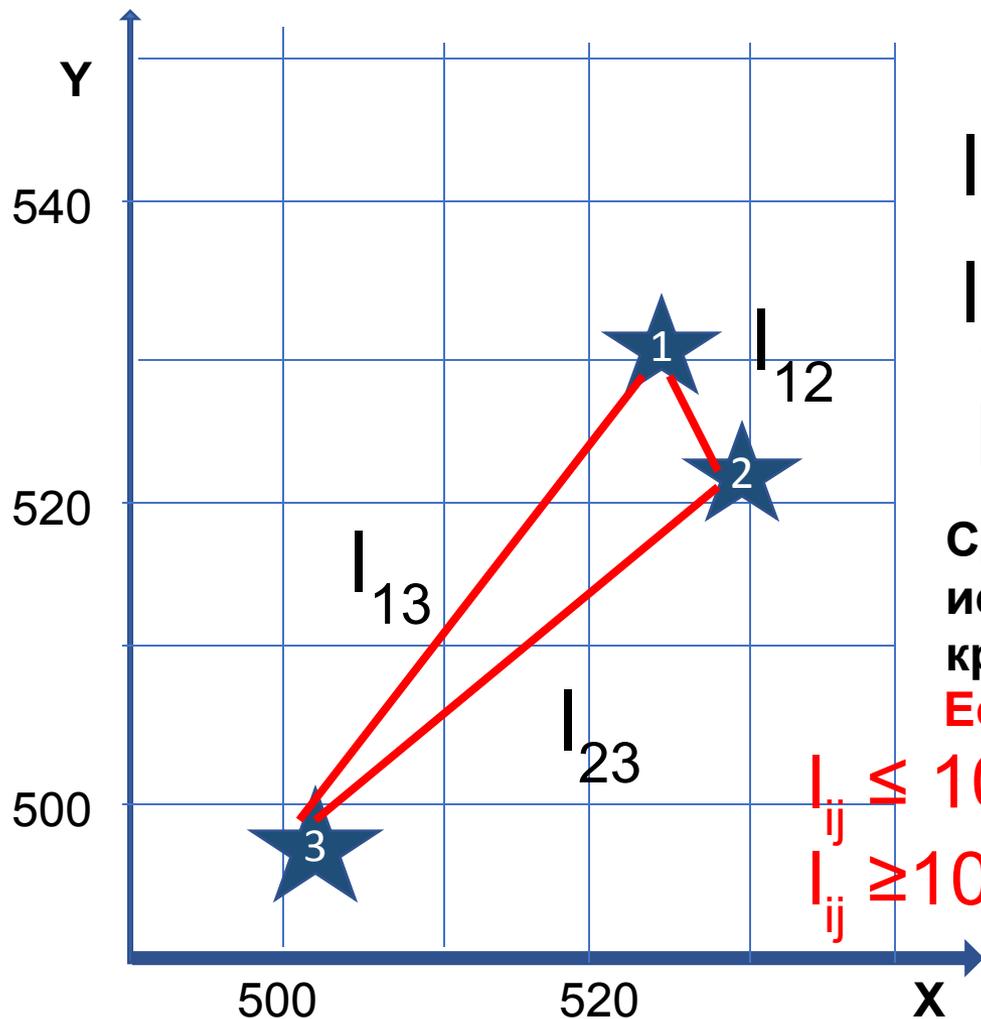
- 1. По теореме Пифагора рассчитать расстояние между источниками:

$$z = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

где y_i ; x_i – координаты источника.

№ п.п	Y	X
1	535	530
2	500	500
3	510	505

График расположения источников выбросов



сравнение выбросов – попарно

$$l_{12} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} \quad (1)$$

$$l_{23} = \sqrt{(X_3 - X_2)^2 + (Y_3 - Y_2)^2} \quad (2)$$

$$l_{13} = \sqrt{(X_1 - X_3)^2 + (Y_1 - Y_3)^2} \quad (3)$$

Сравнивают значение выбранного источника с условно выбранным критерием удаленности.

Если:

$l_{ij} \leq 10$ близкорасположенный источник;

$l_{ij} \geq 10$ дальнерасположенный источник.

2. Определить максимальное значение приземной концентрации i – го химического вещества C_{mi} , мг/м³

- Определение C_{mi} при выбросе газовой смеси проводится в зависимости от расположения источников относительно друг друга.

Если:

2.1. $l_{ij} \geq 10$ м дальнерасположенный источник;

• 2.2. $l_{ij} \leq 10$ м близкорасположенный источник.
Для дальнерасположенных источников значения максимальной концентрации загрязнения (C_{mi}) определяют для каждого выбрасываемого компонента рассматриваемой пары источников.

• Для пары близкорасположенных источников определяют одну общую усредненную концентрацию всех компонентов, рассматриваемой пары источников.

2.1 Если источники находятся на расстоянии более 10 м друг от друга, то значение C_{mi} , мг/м³, *i*-компонента определяют по формуле:

$$C_i = \frac{A \cdot M_i \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (4)$$

где A - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, безразмерный; для территории от 50° с.ш. до 52° с.ш. равен 180 (Саратовская область);

M_i - масса *i*-го вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с; (графы 10, табл. 1);

F - коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ, безразмерный; равен:

а) для газообразных вредных веществ – 1;

в) для конденсированных веществ в твердом (аэрозоль) или жидком (аэрозоль) состоянии

$F_{т,ж} = 3$;

H - высота источника над уровнем земли, м; (графа 4 таблицы 1);

V_1 - расход газовойоздушной смеси, м³/с; (графа 7 табл. 1);

ΔT - разность между температурой выбрасываемой газовойоздушной смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха, равной согласно СНиП 2.01.01.–82, средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года, 20,6°; $\Delta T = T_B - 20,6^\circ$ (T_B по табл. 1 графа 8)

η - коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, безразмерный; в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот не превышающим 50 м на 1 км, равен 1 (52° с.ш.);

m, n - коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса, определяют в зависимости от параметров f, U_M .

РАСЧЕТ m

Эффективность оседания примеси в атмосфере:

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 D}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (5)$$

где ω_0 - средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса, м/с; линейная скорость поступления примеси в атмосферу (6 графа табл. 1)

D - диаметр устья источника выброса, м (5 графа табл. 1).

Коэффициент m определяется в зависимости от f по формуле:

$$\text{при } f < 100 \rightarrow m = \frac{1}{0,67 + 0,4\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} \quad (6)$$

$$\text{при } f \geq 100 \rightarrow m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}} \quad (7)$$

РАСЧЕТ n

Коэффициент n определяется в зависимости от v_m по формуле:

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \Delta T}{H}} \quad (8)$$

$$\text{при } v_m \geq 2 \rightarrow n = 1 \quad (9)$$

$$\text{при } 0,5 \leq v_m < 2 \rightarrow n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13 \quad (10)$$

$$\text{при } v_m < 0,5 \rightarrow n = 4,4 v_m \quad (11)$$

2.2. Для близкорасположенных источников (менее 10 м), определяют выброс суммарной концентрации веществ данной пары по формуле:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{V \cdot \Delta T}} \quad (12)$$

где M - суммарная массовый выброс всех компонентов данной пары близкорасположенных источников в атмосферу

($M = \sum_i^n M_i$), г/с;

V - суммарный расход газовой смеси от данной пары близкорасположенных источников выброса ($V_1 + V_2$), м/с;

N - количество источников выброса ($N = 2$).

ВАЖНО ПОНИМАТЬ!

На рисунке приведен пример дальне расположенного источника – №3, а близкорасположенные будут обозначаться как № 1 и 2 источники (далее будут рассматриваться, как один обобщенный источник), таким образом, Вы производите расчёт только для двух источников – 3 и (1 и 2 - обобщенный). В обобщенном источнике (1 и 2) параметры показаний необходимые для расчетов концентрации вещества суммируют или находят среднеарифметическую в зависимости от того или иного параметра, игнорируя структуру вещества, то есть по всем перечисленные показания веществ для 1 и 2 источника находите одно значение M (сумма); V (сумма); N (всегда 2), для D , H , ΔT , ω_0 находите – среднеарифметическое значение и обращаете внимание только на результирующее значение полученной приземной концентрации при сравнении ее с ПДК. В конечном итоге Вы должны сравнить полученное значение приземной концентрации (это значение будет одно) с величиной ПДК самого токсичного соединения в Вашем списке (см. свой вариант – это будет самое низкое значение). Далее, если расчетное значение C_M превышает значение ПДК, то проводите мероприятие по уменьшению выброса, ставя фильтры и проводите соответствующие расчеты.

Все остальные параметры, подставляемые в формулы, при расчете максимальной приземной концентрации i – го химического вещества от объединенных источников, усредняются:

$$\bullet \bar{D} = 1/2 (D_1 + D_2); \quad (13)$$

$$\bullet \bar{H} = 1/2 (H_1 + H_2);$$

$$\bullet \bar{\Delta T} = 1/2 (T_1 + T_2); \quad (14)$$

$$\bullet \bar{\omega}_0 = 1/2 (\omega_{01} + \omega_{02}). \quad (15)$$

$$(16)$$

При расчете коэффициентов m и n для близкорасположенных источников необходимо определить средние величины \bar{f} и \bar{v}_m по формулам (17, 18):

$$\bar{f} = 1000 \frac{\bar{\omega}_0^2 \cdot \bar{D}}{\bar{H}^2 \cdot \Delta \bar{T}} \quad (17);$$

$$\bar{v}_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{\bar{V}_1 \Delta \bar{T}}{\bar{H}}} \quad (18),$$

посредством усредненных параметров $(\bar{D}, \bar{H}, \Delta \bar{T}, \bar{\omega}_0)$, рассчитанных с использованием уравнений (13-16).

Затем, необходимо выбрать формулу для расчета коэффициентов m и n , как в случае дальнерасположенных источников. Для m по формулам (19, 20) при $\bar{f} \rightarrow \bar{m}$:

$$\text{при } \bar{f} < 100 \rightarrow \quad \bar{m} = \frac{1}{0,67 + 0,4\sqrt{\bar{f}} + 0,34\sqrt[3]{\bar{f}}} \quad (19)$$

$$\text{при } \bar{f} \geq 100 \rightarrow \quad \bar{m} = \frac{1,47}{\sqrt[3]{\bar{f}}} \quad (20)$$

Коэффициент \bar{n} определяется в зависимости от \bar{v}_m по формуле (18) при условии $\bar{v}_m \rightarrow \bar{n}$:

$$\text{при } \bar{v}_m \geq 2 \rightarrow \bar{n} = 1$$

$$\text{при } 0,5 \leq \bar{v}_m < 2 \rightarrow \bar{n} = 0,532 \bar{v}_m^2 - 2,13 \bar{v}_m + 3,13$$

$$\text{при } \bar{v}_m < 0,5 \rightarrow \bar{n} = 4,4 \bar{v}_m$$

- По формуле (12) определяют суммарную концентрацию i -го вещества (C_{Mi}).
- Если необходимо провести расчеты C_{Mi} для одной трубы, то считают при условии как для дальне расположенной трубы.

3. Определение (радиуса) расстояния $X_m(n), m$, от n -го источника выброса, на котором приземная концентрация C_{mi} , mg/m^3 , достигнет максимального значения.

$$X_m = \frac{5-F}{4} \cdot \alpha \cdot H \quad (21)$$

где α - безразмерный коэффициент, определяется в зависимости от f, v_m, v'_m, f_e .

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{\omega_0 \cdot D}{H} \quad (22);$$

$$f_e = 800 (v'_m)^3, \quad (23)$$

при $f < 100$

$$v_m \leq 0,5 \rightarrow \alpha = 2,48 (1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}),$$

$$0,5 < v_m \leq 2 \rightarrow \alpha = 4,95 v_m (1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e}),$$

$$v_m > 2 \rightarrow \alpha = 7 \sqrt{v_m} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f_e});$$

при $f > 100$

$$v'_m \leq 0,5 \rightarrow \alpha = 5,7,$$

$$0,5 < v'_m \leq 2 \rightarrow \alpha = 11,4 v'_m,$$

$$v'_m > 2 \rightarrow \alpha = 16 \sqrt{v'_m}.$$

Радиус выброса гипотетического вещества

$$X_M = \frac{5-F}{4} \cdot \alpha \cdot H$$

близкорасположенные источники (№1 и №2) – рассматриваются как один модельный (усредненный) источник, центр которого находится по середине расстояния между ист. №1 и ист. №2

Радиусы для 3 дальне-расположенного источника:

- Радиус выброса веществ может быть одинаковый (например, для X и Y), (чёрным), если имеют одно агрегатное состояние F.



Радиус выброса гипотетического вещества для модельного источника (близкорасположенные) (ист. 1 и 2) равен :

- Радиус выброса для веществ(а) А источника (красным) F=1, если агрегатное состояние – газообразное.
- Радиус выброса для веществ(а) В источника (зеленым) F=3, если агрегатное состояние вещества жидкость или твердое.

4. Разработка комплекса атмосферных мероприятий, направленных на снижение уровня концентрации до значений ПДК (установка пылегазоочистного оборудования, изменение режимов работы технологического оборудования, увеличение высоты источника выборов).

Атмосфероохранные мероприятия разрабатываются только для веществ, создающих концентрацию выше ПДК.

Выбор мероприятия зависит от уровня загрязнения, создаваемого источником выброса, и расстояния, на котором фиксируется максимальная концентрация. При выборе пылегазоочистного оборудования необходимо учитывать степень очистки, а также исключить возможность образования не растворимых соединений веществ, приводящих к закупорке выходных отверстий и выводу установки из действия.

Эффективность ряда основных пылегазоулавливающих аппаратов:

пылегазоулавливающий аппарат	K _i эффективность усл. ед. (%)
Пылеосадительная камера	0,80 (80%)
Обычный фильтр	0,99 (99%)
Электрофильтр	0,995 (99,5 %)
Циклон	0,95 (95%)
Скруббер с мокрой очисткой	0,995 (99,5 %)

Эффективность таких установок (усл. ед.) определяется по формуле:

$$K = (1 - K_p)$$

- В случае недостаточности установки одного аппарата возможна установка несколько последовательно стоящих аппаратов (две и более ступеней очистки), например, фильтры – циклон; фильтр – скруббер; циклон – пылеосадительная камера; фильтр – циклон - пылеосадительная камера; батарейные циклоны.
- Эффективность таких установок (%) определяется по формуле:

$$K = (1 - K_1)(1 - K_2)...(1 - K_n),$$

где K_1, K_2, \dots, K_n - эффективность первого, второго и последующих аппаратов.

В качестве атмосфероохранного мероприятия может быть использовано изменение режима работы технологического оборудования, например, не совместное, а последовательное выполнение ряда операций. Использование данного мероприятия не связано с затратами, но требует знаний техпроцесса и не подходит для непрерывного техпроцесса (например, химическое производство).

Определим для каждого вещества соотношение $St_i/ПДК$.

Результат дает уровень загрязнения в долях ПДК:

например, $St_{\text{пыль}} = 0,062 \text{ мг/м}^3$; $ПДК_{\text{пыль}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$; соотношение $0,062/0,5 = 0,124$.

Уровень загрязнения воздуха по пыли $0,124ПДК < 1$, т.е. загрязнение по пыли отсутствует $St_{\text{зола}} = 0,18 \text{ мг/м}^3$; $ПДК_{\text{зола}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$; соотношение $0,18/0,05 = 3,6$.

Уровень загрязнения воздуха по золе $3,6ПДК > 1$.

Для золы соотношение > 1 , т.е. создается повышенный уровень загрязнения. Необходимо пылегазоочистное оборудование на источник 1, средний эффект очистки которого 95 % ($K=95\%$), а именно, циклон. Проверим эффективность мероприятия:

$$M'_I = M_{\text{зола}} (1-K/100) = 0,9 \times (1-0,95) = 0,045 \text{ г/с.}$$

$$Cm'_i = \frac{180 \times M'_{\text{зола}} \times 2 \times 0,91 \times 1,36 \times 1}{25^2 \times \sqrt{1,5 \times 99,4}} = \frac{180 \times 0,045 \times 2 \times 0,91 \times 1,36 \times 1}{25^2 \times \sqrt{1,5 \times 99,4}} = 0,006 \text{ мг/м}^3 < 1.$$

Соотношение $0,006/0,05 = 0,12$. Уровень загрязнения воздуха по золе стал $0,12 ПДК < 1$, т.е. данное мероприятие эффективно.