

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

В данной статье рассматриваются основные проблемы, возникающие при оценке качества атмосферы промышленных городов. Предлагается модель позволяющая учитывать уровень загрязнения атмосферы и прогнозировать возникновение той или иной экологической ситуации с учетом ряда факторов влияющих на изменение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере промышленных городов.

Атмосферный воздух является своего рода посредником антропогенного загрязнения всех других элементов природы, он способствует распространению загрязняющих веществ на значительные расстояния. Наиболее остро проблема антропогенного и техногенного загрязнений стоит в крупных городах с высокой концентрацией промышленных предприятий, транспорта и населения.

Для прогнозирования возникновения той или иной экологической ситуации большое значение имеет степень концентрации (С) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, ее превышение над предельно допустимой концентрацией (ПДК) и при их превышении могут быть даны рекомендации по уменьшению вредных выбросов или продолжительности времени работы предприятий.

По данным многих авторов, насчитывается от 100 до 250 методов прогнозирования качества атмосферы, однако ведущие специалисты (Израэль Ю.А., Гасилина Н.К., Ровинский Ф.Я., Берлянд М.Е.) считают, что имеет смысл говорить всего лишь о трех методах: экспертном, экстраполяции и моделирования. А все остальные являются лишь разновидностями этих методов.

Метод экспертного прогнозирования применяется в том случае, если данные прогноза не поддаются обработке полностью или хотя бы частично. Он основывается на системе получения и специализированной обработки оценок прогноза той или иной ситуации путем опроса экспертов в данной области науки.

Метод экстраполяции и интерполяции применяется чаще всего для кратковременных прогнозов. В его основу положено изучение данных (как количественное так и качественное) за несколько предшествующих лет и если изменение экологической ситуации не претерпевает резких скачков, предполагается тенденция изменения ситуации на следующий прогнозируемый период.

В практике наибольшее распространение получил метод моделирования. Для составления модели требуется выполнение трех основных условий:

- выявление факторов, имеющих существенное значение для прогноза;

- определение действительного отношения факторов к предсказуемому явлению;

- разработка алгоритма и программы.

Данный метод хорош тем, что для обработки данных позволяет использовать ЭВМ. Далее, как бы не была сложна модель, – она всегда упрощает объект прогнозирования. К тому же, при использовании данного метода, не требуется привлечение высококвалифицированных специалистов. Кроме того, он позволяет учитывать фактор вероятности возникновения той или иной экологической ситуации.

Из вышеизложенного следует, что для оценки состояния атмосферного воздуха необходимо совершенствовать методы прогнозирования, усложнять модели и уточнять базу данных.

Чтобы получить информацию об изменении концентраций вредных веществ в воздухе и по экспериментальным данным составить карту загрязнения воздушного бассейна, необходимо производить систематические замеры уровня концентрации загрязняющих веществ в воздухе, причем отборы проб воздуха должны производиться в «узлах регулярной сетки с шагом не более 2 км» [1]. Такая задача практически не выполнима.

При создании модели прогноза возникновения той или иной экологической ситуации необходимо учитывать три основных условия: «а) выявление факторов, имеющих существенное значение для предсказания; б) определение действительного отношения факторов к предсказуемому явлению; в) разработка алгоритма и программы.» [1] Кроме того надо учитывать, что в любых природных процессах обязательно присутствуют три составляющие: «а) детерминированная, которая поддается точному расчету на период, достаточный для целей прогнозирования; б) вероятностная, которая выявляется в процессе изучения прогнозируемого объекта или явления; в) случайная, которая на современном уровне знаний практически не поддается предсказанию.» [1]

Но, как это не парадоксально при прогнозировании состояния окружающей среды, в данном случае атмосферного воздуха, нам приходится

сталкиваться с вероятностными и случайными составляющими.

Для составления математической модели ожидаемого изменения состояния атмосферного воздуха требуется определить какие показатели необходимы для анализа процесса рассеивания загрязняющих веществ и учесть все составляющие, оказывающие значительное влияние на данный процесс.

Также следует учесть, что примеси в атмосфере находятся в различных агрегатных состояниях: газообразных, в виде аэрозолей, твердых.

Необходимо учесть какое естественное или антропогенное загрязнение оказывает наибольшее влияние на ожидаемую экологическую ситуацию.

На изменение состава загрязняющих веществ в атмосфере в значительной степени влияют метеорологические (МПА – метеорологический потенциал рассеивающей способности атмосферы) и климатические (ПЗА – метеорологический потенциал загрязнения атмосферы) условия данной местности. Используя многолетние статистические данные можно спрогнозировать условия, оценить их и учесть в дальнейшем при прогнозировании уровня антропогенного загрязнения атмосферы.

В нашем случае нас интересует роль антропогенного загрязнения для создания модели прогноза состояния атмосферного воздуха. Развитие методов прогноза возникновения той или иной экологической ситуации возможно по двум направлениям. Одно базируется на основе математического описания распространения примесей с помощью решения соответствующих уравнений диффузии. Другое же основывается на анализе статистических данных по распространению загрязняющих веществ в атмосфере.

Первое направление более предпочтительно, поскольку позволяет учитывать все факторы влияющие на способность атмосферы к рассеиванию загрязняющих веществ и учитывать коэффициент вероятности ожидаемой ситуации.

В нашей стране наибольшее распространение получила модель профессора М.Е. Берлянда. «В соответствии с этой моделью степень загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ из непрерывно действующих источников определяется по наибольшему рассчитанному значению разовой приземной концентрации вредных веществ (C_m), которая учитывается на некотором расстоянии (X_m) от места выброса при неблагоприятных метеорологических условиях, когда скорость ветра достигает опасного значения (U_m) и в приземном слое происходит интенсивный турбулентный обмен». [3] Но данная мо-

дель достаточно сложна, так как требует специальной физико-математической подготовки.

Следовательно, возникает необходимость в получении модели изменения состава атмосферного воздуха в течение определенного временного интервала, с учетом всех факторов, влияющих на изменение концентрации загрязняющих веществ, не требующей специальной квалификации.

На изменение концентрации (C_i) загрязняющих веществ в воздухе, как известно, оказывают влияние:

а) качественные и количественные характеристики выбросов промышленных предприятий и транспорта. Степень загрязнения атмосферного воздуха зависит также от высоты выброса. «С увеличением высоты выброса степень рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере возрастает, их концентрация снижается и в отдельных случаях может быть уменьшена до ПДК». [2];

б) архитектура городов и их величина;

в) рельеф местности;

г) ветряная нагрузка;

д) температура окружающей среды и время года;

е) осадки, как таковые (дождь, снег, туман) или отсутствие их;

ж) фоновая или остаточная концентрация загрязняющих веществ в воздухе;

з) уровень солнечной радиации.

Все эти факторы очень трудно учесть в одной модели, но в этом нет и необходимости. Для существенного упрощения расчетов можно рассматривать ряд допущений. Так как, расчет ведется для определенной территории, то можно ввести ряд допущений:

а) в любой ситуации при составлении прогноза процесса рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере присутствие фоновой концентрации не играет существенной роли, и ее условно можно принять $\cong \text{const}$.

б) влияние рельефа поверхности земли, застройки зданиями и сооружениями на изменение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, тоже не оказывает значительного влияния и их также можно считать $\cong \text{const}$.

В связи с этим сама модель значительно упрощается и сводится к расчету изменения концентраций загрязняющих веществ в атмосфере с учетом времени, осадков, температуры окружающей среды и ветряной нагрузки.

В качестве основных критериев оценки загрязнения атмосферного воздуха являются Предельно Допустимые Концентрации (ПДК) вредных примесей. В качестве основного показателя опасности загрязнения воздуха принимается суммарная весовая концентрация примесей. Причем

данный показатель справедлив как для газов, также и для пыли и аэрозолей, хотя в некоторых случаях на изменение концентрации загрязняющих веществ может влиять и их дисперсность.

Но в любом случае требуется выполнение следующего соотношения:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1 \quad (1)$$

При составлении математической модели необходимо учитывать ряд критериев и параметров, используемых для характеристики антропогенного воздействия человека на окружающую среду:

– категория опасности предприятия (КОП), которая учитывает суммарную массу выбросов вредных веществ в атмосферу от предприятия, приведенную к одному классу опасности;

– В связи с тем, что мы имеем дело с большой территорией, где расположение предприятий и автомобильных дорог крайне неравномерно. Кроме того сами предприятия могут быть разного назначения и, в связи с этим иметь разные КОП, а автомобильные дороги имеют различную степень загруженности, а следовательно, коэффициент опасности дорог (КОД) у них тоже будет различен, то для более полной оценки состояния загрязнения окружающей среды необходимо ввести такой параметр как коэффициент опасности района города (КОР), которая дает некоторый условный объем загрязненного воздуха от всех предприятий и дорог района города, разбавленный до санитарно-гигиенических норм и приведенный к одной токсичности. Она оценивается как сумма опасностей предприятий (КОП) + сумма опасностей автомобильных дорог (КОД):

$$\text{КОР} = \sum_{i=1}^m \text{КОП} + \sum_{i=1}^m \text{КОУ} = \sum_{j=1}^n \text{КОВ}; \quad (2)$$

где m – число предприятий на территории города или населенного пункта;

КОВ – категория опасности вещества выбрасываемого в атмосферу города или населенного пункта, $\text{м}^3/\text{с}$;

n – количество загрязняющих веществ;

Категория опасности предприятий, в свою очередь, определяется через суммарное количество выбросов вредных веществ в атмосферу:

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_i} \right)^\alpha; \quad (2.1)$$

где M_i – количество выбросов i -й примеси в атмосферу, $\text{т}/\text{год}$;

ПДК_i – среднесуточная ПДК i -го вещества в атмосфере населенного пункта, $\text{мг}/\text{м}^3$;

α_i – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вред-

ностью диоксида серы (III класс опасности). Значения для токсикантов 1; 2; 3 и 4 классов опасности соответственно равны 1,7; 1,3; 1,0 и 0,9.

Если массу выбросов загрязняющих веществ выразить через их массовую концентрацию в потоке:

$$m = C_i \cdot V_i; \quad (2.11)$$

где V_i – объем газового потока, загрязненного i -м токсичным веществом.

Уравнение (2.1) будет выглядеть следующим образом:

$$\text{КОП} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i^m}{\text{ПДК}_i} \right)^{\alpha_i} \cdot \frac{V_i}{t}; \quad (2.12)$$

где V_i – объем воздушной среды в приземном слое, м^3 .

$$\text{КОУ} = \text{КОД} + \sum_{i=1}^m \text{КОА} \quad (2.2)$$

где m – количество автомобилей на улицах города;

КОД – категория опасности дороги района города или населенного пункта, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$\text{КОД} = \frac{M_n}{\text{ПДК}_n} = \frac{C V^y}{\text{ПДК}_n} \quad (2.21)$$

где C – концентрация пыли в воздухе улицы;

V_y – объем атмосферного воздуха, в котором рассеяна пыль.

$$C = \sum_{j=1}^n C_m + C_{\Sigma 0} \quad (2.22)$$

где C_m – концентрация пыли в воздухе улицы от выбросов автомобилей на текущий момент;

$$C = \frac{\Psi_1 S_{Al} N_1 t}{V^y} \quad (2.23)$$

где V^y – объем среды в приземном слое атмосферы улицы в котором распределяется пыль;

Ψ_1 – сдуваемость пыли, $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$;

S_{Al} – площадь проекции автомобиля на поверхность дороги, м^2 ;

N_1 – количество автомобилей I-класса, проходящих над определенной поверхностью дороги;

t – время взаимодействия автомобиля с поверхностью дороги;

$$t = \frac{L_A}{V_A} \quad (2.24)$$

где L_A – длина автомобиля, м ;

V_A – скорость его движения, $\text{км}/\text{ч}$.

$C_{\Sigma 0}$ – остаточная (равновесная) концентрация пыли в воздухе улицы; для условий штиля ($V \approx 0 \text{ м}/\text{с}$):

$$C_{\Sigma 0} = \frac{\Psi_1 S_{Al} N_1 t e^{-\Delta G/RT}}{V^y} \quad (2.25)$$

для ветреной погоды ($V > 5 \text{ м}/\text{с}$), когда оседание пыли не наблюдается ($e^{-\Delta G/RT} \rightarrow 1$) происходит рассеяние пыли в атмосфере:

$$C_{\Sigma 0} = \frac{C_0 V_0^y}{V^y} = \frac{C_0 V_0^y}{V_0^y + \Delta V} \quad (2.26)$$

V_0^y – постоянный объем среды в приземном слое атмосферы, определяемый площадью улицы (S) и высотой приземного слоя (h);

$$V_0^y = B * L * h \quad (2.27)$$

где B и L – характеристики автодороги (B – средняя ширина дороги, L – длина дороги каждой улицы);

h – высота застроек.

ΔV – прирост постоянного объема среды в приземном слое атмосферы, создаваемый диффузионными процессами :

Для случая, когда в атмосфере наблюдаются застойные явления ($V < 3 \div 5$ м/с), рассеяние примеси будет происходить по механизму молекулярной диффузии. Снижение концентрации примеси в воздухе за счет молекулярной диффузии происходит в основном при вертикальном переносе ($L_{\text{диф}} = \Delta h$). Для этого случая ΔV определяется через увеличение высоты приземного слоя:

$$\Delta V = [2(L * h) + S] * V_{\text{диф}} * t \quad (2.28)$$

При скорости ветра > 5 м/с самым неблагоприятным случаем будет, если направление ветра перпендикулярно расположению улицы:

$$\Delta V = Lh V_{\text{диф}} t \quad (2.29)$$

Категория опасности города (КОГ), которая дает некоторый условный объем загрязненного воздуха города, разбавленный до санитарно-гигиенических норм и приведенный к одной токсичности. Она оценивается как сумма опасности районов города (КОР):

$$\text{КОГ} = \sum_{i=1}^m \text{КОР}_i; \quad (3)$$

Уровень загрязнения атмосферы (ИЗА- j), который показывает, во сколько раз суммарный уровень загрязнения воздуха превышает предельно допустимые значения:[6]

$$j = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right)^{\alpha_i}; \quad (4)$$

где n – количество примесей в воздухе населенного пункта.

α_i – безразмерная константа позволяющая соотнести степень вредности i -го вещества с вредностью диоксида серы.

Изменение концентрации ЗВ в атмосфере возможно по диффузионным процессам (при V ветра $< 3-5$ м/с) и по инверсии.

Рассмотрим территорию одного района города как единую термодинамическую единицу, являющуюся составной частью крупного про-

мышленного мегаполиса. Для инверсионных условий, в случае, если атмосферную среду единичного района промышленного города рассматривать как замкнутую единую термодинамическую систему, концентрацию примеси в потоке C_i^m можно приравнять к максимальной массовой концентрации $C_m^i = C_{\text{max}}^i$ вредного вещества в приземном слое, а объем газового потока считать равным объему воздушной среды в приземном слое района города, в этом случае ИЗА можно представить в следующем виде:

$$j = \frac{\text{КОР} * t}{V_c}; \quad (5)$$

где $V_c = V_c - \pi * L^2 * U * t$ – объем атмосферного воздуха, в котором рассеиваются примеси.

Этот объем уменьшается за счет нисходящей (вертикальной) составляющей воздушного потока.

ИЗА при этом нарастает, что указывает на увеличение концентраций в воздухе.

В случае диффузионных процессов мы имеем:

$$j = \frac{\text{КОР}}{\pi * L^2} * \frac{t}{H(t)} = \alpha * \frac{t}{h}; \quad (6)$$

где $\alpha = \frac{\text{КОР}}{\pi * L^2}$ – величина постоянная для данного района города,

В случае высокой ветровой активности ($U > 5$ м/с) ИЗА будет изменяться по следующей зависимости.

$$j = \frac{\text{КОР}}{L * H * U}; \quad (7)$$

где L – размер района;

H – высота температурных инверсий

U – скорость ветра

Подставим в формулу 5 уравнение 2.1 учитывая, что КОР – это суммарное значения КОП и КОД

$$j = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_i} \right)^{\alpha_i} * t}{V_c}; \quad (8)$$

Из выше изложенного видно, что наибольшее влияние на скорость рассеивания примесей в воздухе оказывает ветер, вернее его скорость. Так как при $V \leq 3-5$ м/с наблюдаются застойные явления в атмосфере и создаются неблагоприятные условия для рассеивания примесей. Далее на изменение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере существенно влияет и наличие осадков. Например: во время тумана растворимые примеси почти полностью поглощаются водяными каплями. Осуществляется реакция образования кислот. Так сернистый

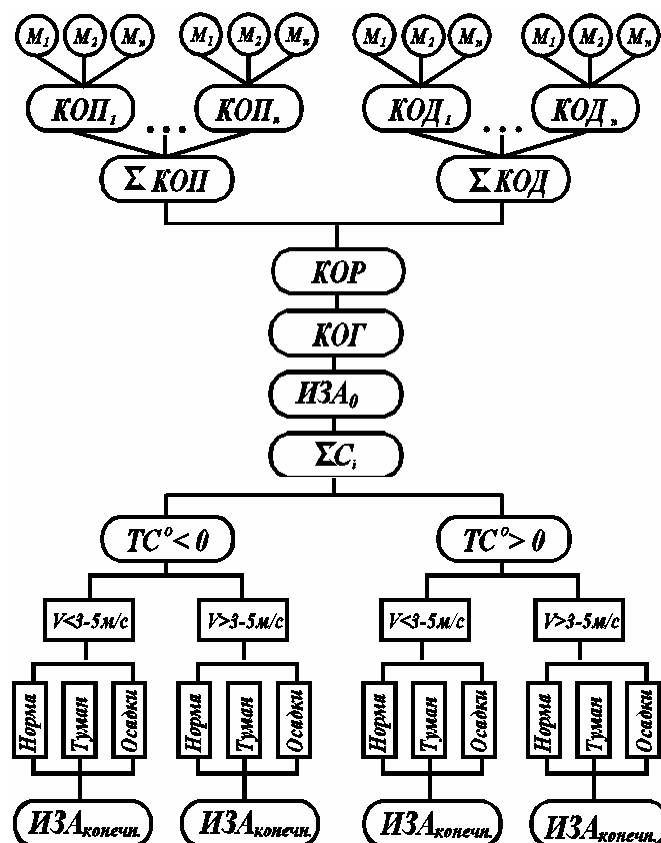


Рисунок 1.

газ в условиях тумана трансформируется в серную кислоту. В тоже время при выпадении осадков $> 0,05$ мм в сутки происходит процесс вымывания загрязняющих из атмосферного воздуха, что способствует его очищению. Кроме этого замечено, что изменение концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе ведет себя по разному при $T >$ и < 0 .

При составлении математической модели необходимо также учитывать уровень загрязне-

ния атмосферы, который описывается рядом статистических характеристик для измеряемых вредных веществ (ИЗА – индекс загрязнения атмосферы). ИЗА является комплексной оценкой влияния вредных веществ на окружающую среду и рассчитывается через массу примесей в атмосфере.

Предполагаемую модель можно представить в виде схемы (рис 1.) (принимая, что выброс уже произошел).

Список использованной литературы:

1. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1989.
2. Кушелев В.П. Охрана природы от загрязнений промышленными выбросами. – М.: Химия, 1979.
3. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеоздат, 1985.
4. Цыкура А.А., Боев В.М., Куксанов В.Ф., Старокожева Е.А. Комплексная оценка качества атмосферы промышленных городов Оренбургской области: Монография – Оренбург, Издательство ОГУ, 1999.