

Гриванова Светлана Михайловна, Гриванов Игорь Юрьевич

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Владивосток, Россия*

Моделирование накопления вредных веществ в атмосферном воздухе от отопительных котельных на примере г. Владивостока

Рассматриваются проблемы поступления вредных веществ в атмосферный воздух от отопительных котельных г. Владивостока, а также приводится математическая модель накопления вредных веществ в облаке «загрязнения», учитывая эффективность самоочищения атмосферы.

Ключевые слова и словосочетания: атмосфера, предельно-допустимые выбросы, нормативы, вредные вещества, фоновое загрязнение, валовые выбросы, самоочищение атмосферного воздуха, концентрации вредных веществ.

Загрязнение атмосферного воздуха происходит из-за поступления в атмосферу тысяч тонн вредных веществ, порой опасных для здоровья человека.

Допустимым критерием загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами является не превышение предельной допустимой концентрации (ПДК) или ориентировочного безопасного уровня воздействия (ОБУВ) вредными веществами, которые поступают в атмосферный воздух от промышленных предприятий, котельных, автотранспорта и в результате конкретных технологических процессов.

Процесс самоочищения атмосферы зависит от количества поступающих вредных веществ. Количество поступающих вредных веществ в атмосферу определяется расчетами, которые производятся только по согласованным методикам расчета. Возникает вопрос, есть ли предел самоочищения атмосферы от поступающих вредных веществ? Необходимо разработать математический аппарат для расчета накопления вредных веществ в атмосфере. В данной статье приводится методика математического расчета, с помощью которой представляется возможность определить, через сколько лет наступает предел накопления вредных веществ в атмосфере.

В России нормирование качества атмосферного воздуха базируется на санитарно-гигиеническом подходе. Управление Росприроднадзора по

Приморскому краю устанавливает нормативы предельно-допустимых выбросов (ПДВ) по каждому источнику для конкретного предприятия. Выбросы большинства существующих предприятий укладываются в нормативы ПДВ. При этом статистические данные свидетельствуют о том, что в атмосферный воздух ежегодно поступают сотни тысяч тонн вредных веществ от регулярно действующих источников [8, 10]. В ряде городов России отмечается неблагоприятное экологическое состояние атмосферного воздуха, т.к. фоновое загрязнение атмосферного воздуха по некоторым веществам уже превысило значение ПДК в несколько раз [8 – 10]. Возникает вопрос, почему при соблюдении нормативов ПДВ многими предприятиями имеет место повышенное загрязнение атмосферного воздуха. Валовые выбросы вредных веществ, поступающие в атмосферу, не подвергаются полному рассеиванию, т.е. не происходит полного самоочищения атмосферного воздуха, а, наоборот, вредные вещества накапливаются в атмосферном воздухе. Не нормируя отдельно валовые выбросы, практически не удастся снизить антропогенную нагрузку на атмосферный воздух.

Вредные вещества, поступающие в атмосферный воздух, под влиянием метеорологических факторов подвергаются рассеиванию. Примеси вредных веществ воздушными массами перемещаются на различные расстояния от источника загрязнения [1, 2, 4]. Планетарного выравнивания вредных примесей не происходит [5]. Загрязнение атмосферного воздуха, в первую очередь, носит локальный характер, т.е. вредные примеси в атмосферном воздухе первоначально распространяются над территорией промышленного объекта [7]. Далее примеси перемещаются потоками воздуха и соединяются с примесями от других промышленных объектов, удаляясь от источника на десятки километров, следовательно, имеет место региональное загрязнение атмосферного воздуха. Над каждой промышленной территорией независимо от рассеивающей способности атмосферы формируется свое облако «загрязнения», и с течением времени оно приходит в состояние динамического равновесия [11]. Нами доказано, что масса вредных веществ в этом облаке становится постоянной. Облако представляет собой макроскопическую систему, которая с течением времени приходит в состояние термодинамического равновесия (процесс релаксации), т.е. средние концентрации вредных веществ в каждой точке облака «загрязнения» становятся одинаковыми. Для разных процессов время релаксации различно: от 10^{-16} сек. до нескольких лет.

В настоящее время неизвестно, сколько в облаке «загрязнения» накапливается вредных веществ, есть ли предел накопления и каковы закономерности этого накопления. Решая проблему сохранения чистоты атмосферного воздуха для настоящего и будущих поколений, необходимо снижать валовые выбросы в атмосферу.

Вредные вещества, поступающие в атмосферу от конкретных источников промышленного объекта, не полностью подвергаются рассеиванию, а частично накапливаются в атмосферном воздухе [1, 12]. Эффективность самоочищения атмосферы снижается из-за регулярного поступления миллионов тонн вредных веществ, о чем свидетельствует, в частности, увеличение запыленности в 1,5 раза и диоксида углерода на 20 % по отношению к природно-компонентному составу атмосферного воздуха за последние 100 лет [3, 6]. Процент снижения эффективности самоочищения атмосферы не установлен. Нами выдвигается гипотеза, что эффективность самоочищения атмосферы находится в диапазоне 50 – 90%. Нас интересовало, как с учетом принятой эффективности самоочищения атмосферы при ежегодных поступлениях вредных веществ с течением времени вредные вещества накапливаются в облаке «загрязнения»? С этой целью была разработана модель накопления вредных веществ в облаке «загрязнения».

Предположим, что эффективность самоочищения атмосферного воздуха составляет $(100 - 100K)\%$, где K – доля вредных веществ, накапливающихся в облаке загрязнения (при принятых граничных условиях: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5). Учитываем, что и в облаке загрязнения продолжают идти процессы самоочищения при указанных различных условиях эффективности самоочищения атмосферы, что оказывает влияние на процесс последовательного накопления примеси.

Пусть K -я часть вредных веществ накапливается в атмосферном воздухе. В первый год поступило M тонн загрязняющего вещества, на конец первого года в облаке «загрязнения» осталось KM (или P_1) тонн загрязняющего вещества. За второй год в облако «загрязнения» поступило M тонн загрязняющего вещества и с учетом оставшегося количества загрязняющего вещества KM за первый год стало $M + KM$ (или $M + P_1$), тогда на конец второго года в облаке «загрязнения» осталось $K(M + KM) = KM + K^2M$. За третий год в облако «загрязнения» поступило M тонн загрязняющего вещества, и с учетом предыдущего количества загрязняющего вещества $M + K(M + KM)$ на конец третьего года в облаке «загрязнения» осталось $K(M + K(M + KM)) = KM + K^2M + K^3M$ загрязняющего вещества. За n лет в облаке «загрязнения» будет $(K^{n-1} + K^{n-2} + \dots + K + 1)MK$ тонн загрязняющего вещества. Описанный процесс накопления вредных веществ в облаке «загрязнения» представлен в виде конкретной математической модели

$$P_n = (K^{n-1} + K^{n-2} + \dots + K + 1)MK = \frac{1 - K^n}{1 - K} MK \quad \text{или} \quad P_n = K(P_{n-1} + M), \quad (1)$$

где P_n – количество загрязняющего вещества, находящееся в облаке «загрязнения» на конец n -го года, т;

M – количество тонн загрязняющего вещества, систематически поступающее за год в облако «загрязнения» от учтенных источников;

K – накапливающаяся доля загрязняющего вещества в облаке «загрязнения», $0 < K < 1$;

$MK = P_1$ – масса вредного вещества на первый год накопления;

$n = 2, 3, \dots$ – количество лет накопления примеси.

Как видно, модель накопления вредных веществ в облаке «загрязнения» описана двумя видами формул. Первая формула представляет собой сумму членов убывающей геометрической прогрессии, вторая – рекуррентную формулу, позволяющую шаг за шагом определить любой член последовательности, если известны значения первых ее членов.

Возникает вопрос, беспредельно ли в атмосфере могут накапливаться примеси вредных веществ или наступает момент, когда количество их станет стабильным? Расчеты по модели показывают, что через определенное количество лет в атмосфере наступает такое состояние, когда состав атмосферного воздуха в облаке загрязнения при добавлении новой порции вредного вещества не изменяется. Динамическим равновесием атмосферы назовем такое состояние атмосферного воздуха, при котором поступление новых вредных веществ при $(100 - 100K)\%$ самоочищении атмосферы не увеличивает количество вредных веществ, находящихся в облаке «загрязнения». Тогда также возникает вопрос, в течение какого времени происходит накопление, которое приведет к такому новому состоянию атмосферы. По каждому веществу год наступления динамического равновесия всегда будет своим. В последующие годы количество вредных веществ при локальном загрязнении остается неизменным. Начиная с года динамического равновесия процент вредного вещества, находящегося в облаке «загрязнения», показывает, что чем меньше эффективность самоочищения атмосферы, тем большее количество лет ухудшается состояние атмосферного воздуха, но при этом масса вредного вещества в облаке «загрязнения» при меньшей эффективности самоочищения атмосферы больше, чем при большей эффективности самоочищения. Это обусловлено тем, что с увеличением n ряд сходится тем быстрее, чем меньше K .

$$\frac{P_n}{M} \times 100\% = \alpha \quad (2)$$

Из модели следует, что через определенное время (время релаксации) при достаточно длительном периоде загрязнения масса вредных веществ достигнет своего предела накопления:

$$P_{\max} = \frac{1}{1-K} MK, \quad (3)$$

где $\frac{K}{1-K}$ – мультипликатор, показывающий, как изменится масса вредного вещества при неполном самоочищении атмосферы. При этом $\alpha_{\max} = \frac{K}{1-K}$.

Рассмотрен конкретный объект – отопительные котельные в одном из районов г. Владивостока, работающие на мазуте и дизтопливе.

Результаты расчета по модели (1) года динамического равновесия в облаке «загрязнения», количества тонн вредных веществ, присутствующих в нем на этот год, при принятых граничных условиях эффективности самоочищения атмосферы сведены в табл. 1.

Таблица 1

Динамическое равновесие в облаке «загрязнения» по каждому веществу при различной эффективности самоочищения атмосферы

Вещество	V ₅ O ₂		CO	SO ₂	NO ₂	NO	Сажа
M, т/год	0,50573		193,2465	301,30995	35,9495	8,9876	0,0037
Год динамического равновесия	90%	12	20	21	14	13	11
	50%	62	65	71	64	63	51
Количество тонн в год динамического равновесия	90%	0,05619(2)	21,4718(3)	33,47888(3)	3,9943(8)	0,9986(2)	0,0004(1)
	50%	0,50573	193,2465	301,30995	35,9495	8,9876	0,0037

Из таблицы 1 видно, что с уменьшением эффективности самоочищения атмосферы масса загрязняющего вещества в год динамического равновесия возрастает.

На рисунке 1 показано изменение массы вредных веществ в облаке «загрязнения» за период предельного накопления при 90% самоочищения атмосферы, на рисунке 2 – при 50 % самоочищения атмосферы.

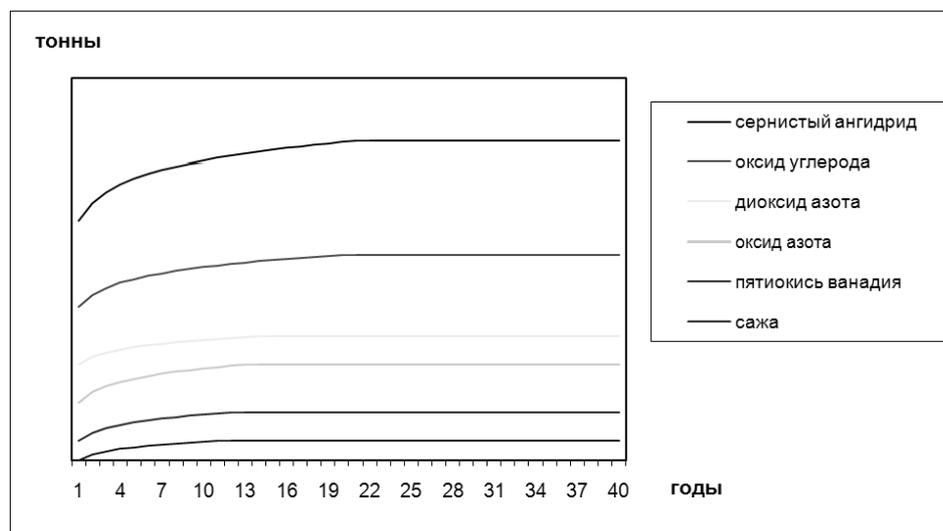


Рис. 1. Изменение массы вредных веществ в облаке «загрязнения» за период предельного накопления при 90 % самоочищения атмосферы

Расчеты по формуле (2) показали, что, начиная с года наступления динамического равновесия, при 90% эффективности самоочищения в атмосферном воздухе постоянно присутствует 11,1% загрязняющих веществ, при 80% – 25% загрязняющих веществ, при 70% – 42,9% загрязняющих веществ, при 60% – 66,7% загрязняющих веществ, при 50% – 100% загрязняющих веществ.

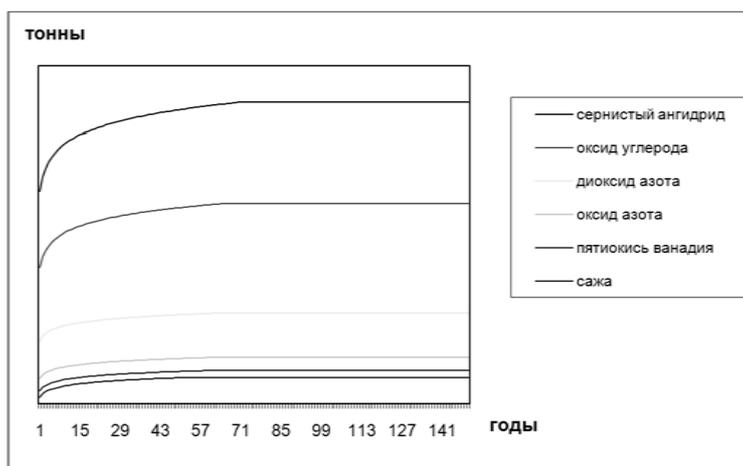


Рис. 2. Изменение массы вредных веществ в облаке «загрязнения» за период предельного накопления при 50% самоочищения атмосферы

Несмотря на то, что год динамического равновесия наступает раньше при большей эффективности самоочищения, начиная с этого года в атмосфере будет содержаться меньшее количество загрязняющих веществ, но концентрации при этом опасны. Если не снижать объемы валовых выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, то спустя определенное время концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе может достигнуть критической отметки, при которой не будет иметь место разбавление этих примесей в воздушном пространстве чистым воздухом.

1. Безуглая Э.Ю. Чем дышит промышленный город / Э.Ю. Безуглая, Г.П. Расторгуева, И.В. Смирнова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 255 с.
2. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
3. Будыко М.И. Глобальные климатические катастрофы / М.И. Будыко, Г.С. Голицин, Ю.А. Израэль. – М.: Гидрометеоиздат, 1986. – 159 с.
4. Бызова Н.Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси / Н.Л. Бызова, Е.К. Гаргер, В.Н. Иванов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 274 с.

5. Владимиров А.М. Охрана окружающей среды / А.М. Владимиров, Ю.И. Ляхин, Л.Т. Матвеев, В.Г. Орлов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 423 с.
6. Гинзбург А.С. Планета Земля в «последнюю» эпоху / А.С. Гинзбург. – М.: Наука, 1988. – 103 с.
7. Гриванова С.М. Нормирование вредных выбросов в атмосферу / С.М. Гриванова, И.Ю. Гриванов. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2000. – 359 с.
8. Данилов-Данильян В.И. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1998 г. / В.И. Данилов-Данильян // Экосинформ. – 2000. – № 2. – С. 80.
9. Данилов-Данильян В.И. Устойчивое развитие и проблемы экологической политики / В.И. Данилов-Данильян // Экосинформ. – 1999. – №5. – С. 80.
10. Доклад о состоянии окружающей природной среды Приморского края в 2001 г. / Государственный комитет по охране окружающей среды Приморского края. – Владивосток, 2000. – 160 с.
11. Клосс Р. Облака / Р. Клосс, Л. Фаси. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 120 с.
12. Костина Е.Е. Глобальные изменения климата и его возможные последствия / Е.Е. Костина. – Владивосток: Дальнаука, 1997.