

УДК 669:504

ГАЗОВЫЕ ВЫБРОСЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ. ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ В ПРИЗЕМНЫХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

Орёлкина Д.И., Петелин А.Л., Дмитриев И.Э., Подгородецкий Г.С., Юсфин Ю.С.

*ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Москва, e-mail: la-1208@ya.ru*

Предложен общий подход прогнозирования пространственного распределения газовых выбросов металлургических предприятий на больших расстояниях, основанный на принципе максимальной опасности. Проанализированы основные движущие силы процесса распространения газовых выбросов технологических предприятий в атмосфере. Выделены главные факторы, определяющие распространение вредных веществ на больших расстояниях от источников выбросов. Решена задача прогнозирования распространения газовых выбросов во внешней зоне влияния металлургического центра. Адекватность и возможность надежного использования предложенной методики продемонстрирована на примере оценочного расчета распространения выбросов предприятия ОАО «Магнитогорский Металлургический Комбинат» (ОАО «ММК»). Проведена оценка концентрации оксида азота в результате его распространения при выбросах в атмосферу региона г.Магнитогорск Челябинской области в течение 2012 года, построены карты-схемы распределения концентрации NO₂ по восьми направлениям ветра во внешней зоне влияния ОАО «ММК».

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, газовые выбросы, металлургические выбросы, поле-концентраций, роза ветров, химическая активность

GAS EMISSIONS FROM METALLURGICAL ENTERPRISES. INFLUENCE ZONES OF THE ATMOSPHERE GROUND LAYERS

Orelkina D.I., Petelin A.L., Dmitriev I.E., Podgorodetskii G.S., Yusphin Y.S.

National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, e-mail: la-1208@ya.ru

The general approach to forecasting the space distribution of metallurgical enterprises gas emissions at long distances based on the principle of maximum danger has been proposed. The main driving forces of the spreading process of gas emissions from manufacturing enterprises into the atmosphere have been analyzed. The main factors determining the spread of harmful substances long distances away from emission sources have been highlighted. The problem of the prediction of gas emissions distribution in the outer influence zone of metallurgical centre has been solved. The adequacy and the possibility of reliable use of the proposed methodology were shown by the example of emissions spreading estimation of the OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works».

Keywords: air pollution, gas emissions, metallurgical emissions, concentration field, wind rose, reactivity

Загрязнение атмосферы газовыми выбросами промышленных предприятий является важнейшим фактором, на который следует обращать внимание при разработке мер по защите окружающей среды. Вредные вещества техногенного происхождения, находящиеся в воздухе, которым мы дышим, проникают в организм человека самым коротким путем – непосредственно через органы дыхания и кожные покровы. Скорость распространения летучих примесей в газовой среде очень велика, они могут беспрепятственно проникать всюду, в том числе внутрь производственных и жилых помещений. Поэтому опасность от их воздействия на людей велика и требует постоянного контроля. Для планомерного снижения количества вредных веществ, попадающих в атмосферу в результате промышленной деятельности и принятия защитных мероприятий необходимо знать картину распределения газовых выбросов в воздухе промышленных центров, которая показывала бы степень опасности этих выбросов

для населения близ расположенных городов и населенных пунктов.

Рассмотрим способ прогнозирования уровня концентрации веществ, попадающих в воздушную среду с газовыми выбросами в зависимости от расстояния от места их выброса, т.е. от расстояния от предприятия (предприятий), являющегося источником выбросов.

Будем анализировать стационарные источники выбросов – производства, работающие непрерывно, выбрасывающие в атмосферу одно и то же количество летучих веществ на протяжении длительных периодов времени (месяцы, годы). В качестве предприятий такого типа выберем предприятия черной металлургии, крупные металлургические комбинаты, металлургические центры.

Центры черной металлургии отличаются высоким уровнем загрязнения воздушного бассейна. Крупный металлургический комбинат ежедневно выбрасывает сотни тонн пыли, сернистого ангидрида, окислов азота, окиси углерода. Меньшими по массе,

но более токсичными являются выбросы хлора, фтора, мышьяка, фенолов, различных канцерогенных веществ, однако концентрации этих веществ превышают предельно допустимые, как правило, только на промплощадке [1].

Что происходит с компонентами выбросов и как они распределяются в окружающем пространстве после того как попадают в открытую атмосферу, во что превращаются и где накапливаются отдельные вещества, какие расстояния от предприятия являются частично (почти) безопасными и полностью безопасными (если вообще полная безопасность возможна).

Решение задачи распространения газовых выбросов должно показать распределение компонентов выбросов в зоне влияния данного предприятия (металлургического центра). Зонай влияния назовем всю пространственную область вокруг предприятия, внутри которой концентрации компонентов (веществ) газовых выбросов превышает их средние значения (фоновые) концентрации в невозмущенной атмосфере. Методы практического (измерительного) мониторинга указывают, что зоны влияния крупных металлургических комбинатов простираются иногда на несколько сотен километров [8]. Само распределение концентраций каждого компонента в зоне влияния является пространственным полем концентрации. Попутно отметим, что поскольку каждый компонент выбросов (оксид углерода CO, оксиды азота NO, NO₂, NO_x и т.д.) представляет собой индивидуальное вещество, имеющее собственные, физические, химические (и др.) свойства, то эти компоненты при одинаковых внешних условиях могут распространяться по-разному. Это означает, что для каждого компонента выбросов требуется построить свое поле концентрации (распределение этого компонента (вещества) в пространстве зоны влияния). Сколько компонентов необходимо проанализировать, столько надо построить полей концентрации.

Характеры распространения компонентов газовых выбросов вблизи производственных предприятий и на удаленном от них расстоянии существенно отличаются. Основной причиной этого отличия является большое влияние рельефа местности (профиля подстилающей поверхности) и рельефа промышленных и жилых построек на процесс распространения на небольших расстояниях от места выброса и преобладание других факторов на значительных расстояниях. Вблизи источника выбросов, там, где концентрации компонентов выбросов велики, следует учитывать инфраструкту-

ру предприятия и жилой застройки, наличие ограждений и продуваемых открытых коридоров, а так же рельеф самой земной поверхности. Сложная геометрия подстилающей поверхности вызывает появление неоднородностей в распределении компонентов выбросов. Поэтому вблизи источников выбросов будут наблюдаться значительные перепады концентрации вследствие наличия местных преград. Вместе с тем на значительных расстояниях – десятки и сотни километров – в силу большого числа случайных причин эти неоднородности распределения нивелируются, сглаживаются. Поле концентраций становится более однородным, в нем исчезают области с резкими перепадами (большими градиентами концентраций).

В связи с вышеизложенным разделим условно зону влияния предприятий на две (неравные части). Территорию самого предприятия и прилегающие районы в его непосредственной близости, где проживают люди, работающие на предприятии, находятся смежные промышленные площадки, транспортные узлы и другие службы, необходимые для бесперебойной работы металлургического комплекса обозначим **внутренней зоной влияния**. Остальное пространство зоны влияния, растянувшееся на сотни километров и находящееся вне внутренней зоны – назовем **внешней зоной влияния**. Внутренняя зона влияния отличается большими перепадами концентраций, на соседних участках, разделенных всего несколькими метрами, концентрации вредных веществ могут отличаться в несколько раз. Для этой зоны необходимо построение детального поля концентрации, зависящего от многих внешних параметров: скорости ветра, перепада температур (в цеховом пространстве), влажности воздуха, геометрических размеров и формы зданий и т.д. Большое количество частных факторов можно учитывать с использованием в системе расчета некоторых эмпирических поправок. Такие системы существуют, к ним относится ОНД-86 [5] – система, получившая широкое распространение на территории России. Имея исходные данные, с помощью ОНД-86 можно получить точные значения концентраций в любой заданной точке внутренней зоны, иначе говоря, получить поле концентраций компонентов выбросов для внутренней зоны влияния. Система рассчитывает максимальную концентрацию выбросов при средней скорости ветра в соответствии с розой ветров и температурными данными для данного региона, а также с использованием дополнительных подгоночных параметров. За рубежом

получили распространение другие системы расчета концентраций газовых выбросов в воздухе вблизи промышленных предприятий, основанные, например, на Гауссовой модели [2].

Следует отметить, что при всей безусловной полезности точных компьютерных расчетов, которые проводятся для внутренней зоны влияния с помощью стандартизированных систем типа ОНД-86, полученное поле концентраций является среднестатистическим приближением к реальному распределению концентраций. Так, если скорость ветра в данное конкретное время превышает среднюю величину, то концентрация в одних местах может оказаться ниже, а в других – выше расчетной. При уменьшении скорости ветра во всей внутренней области влияния концентрация везде будет возрастать, а в период полного затишья она станет наибольшей – вещество с выбросами продолжает поступать, но не выносится во внешнюю зону.

Методики расчета для внутренней зоны влияния ограничиваются расстоянием в несколько десятков километров и не годятся для расчетов концентраций выбросов вредных веществ во внешней зоне влияния производственного предприятия. Таким образом, нельзя оценить опасность, которой подвергаются населенные пункты, находящиеся на удаленном расстоянии от металлургических центров. Попытка решения этой проблемы с помощью многофакторной задачи, аналогичной вышеописанным системам расчета, не имеет смысла. Значение концентрации каждого компонента в любой точке поля и в любой момент времени испытывает постоянные флуктуации по причине постоянно изменяющихся атмосферных факторов. Амплитуда этих флуктуаций зависит от пространственных координат и от времени. Поэтому окончательного точного значения концентрации вредного вещества во всей внешней зоне влияния (также как и во внутренней зоне) получить расчетным путем невозможно. С другой стороны, с ростом расстояния от источника территория, на которой требуется определить распределение концентраций (общая площадь поля концентраций), резко возрастает, численный расчет с учетом большого количества варьируемых подгоночных параметров многократно усложняется. Особенно, если для прогноза желательного получить полную картину распространения выбросов. Кроме того, поле концентраций во внешней зоне влияния будет локально более однородным, чем во внутренней зоне влияния, и большое количество параметров для его описания не требуется.

Таким образом, задача распространения компонентов выбросов во внешней зоне влияния переходит (перерастает) в задачу построения среднестатистического поля концентраций каждого из компонентов выбросов.

Построение принципиальной основы схемы прогнозирования распределения концентраций компонентов выбросов во внешней зоне влияния требует решения главного вопроса: какое значение концентрации необходимо рассчитывать для определения уровня опасности распространяющегося вещества – значение в каждой точке пространства внешней зоны влияния для каждого момента времени (непрерывно зависящее от времени – мгновенное значение), среднее за заданный промежуток времени или нечто иное? Значение средней величины концентрации в течение некоторого времени не дает полной информации о возможном риске, т.к. какое-то время концентрация может превышать среднюю, а значит и опасность для человека может быть более высокой, чем та, которая соответствует среднему значению концентрации.

В работе [7] использован метод прогнозирования распространения газовых выбросов во внешней зоне влияния металлургических комбинатов, основанный на *принципе максимальной опасности*. Этот принцип заключается в следующем: общий анализ опасности повышения концентрации вредных (токсичных) газовых выбросов должен включать в себя оценку верхней границы возможных значений концентрации. Согласно данному методу при прогнозировании максимально возможной концентрации вредных веществ необходимо отбрасывать все факторы, локально снижающие концентрацию и определять вероятность реализации этой максимальной концентрации для заданных координат и времени. Таким образом, поле концентраций газовых выбросов внешней зоны влияния должно характеризоваться минимально двумя параметрами в каждой точке: максимальной концентрацией и вероятностью появления этой концентрации (долей времени, длительностью сохранения этой концентрации).

Максимальная концентрация определяется, главным образом, мощностью выброса, количеством вещества данного i -го компонента m_i , поступающего в атмосферу в единицу времени. Назовем эту величину *образующим фактором*. Образующий фактор приводит к увеличению концентрации данного компонента во всей зоне влияния. Далее компонент выброса поступает в каждую точку зоны влияния под дей-

ствием процессов переноса в воздушной среде, которые можно назвать **факторами переноса**. К основным факторам переноса можно отнести природные движения воздушных масс, индивидуальные для каждого географического региона. Основное перемещение молекул всех компонентов воздуха осуществляется под действием ветра – ветровой перенос. Для описания среднестатистических перемещений молекул, содержащих в воздухе, под действием ветра удобно использовать розу ветров, соответствующую рассматриваемой области. Следует учитывать одну универсальную особенность концентрационных полей компонентов выбросов при их формировании под действием ветрового переноса – отсутствие пространственной радиальной поворотной симметрии относительно точки выброса. Это означает, что концентрации компонентов выбросов на одинаковых расстояниях от места выброса (места их поступления в атмосферу), но по разным направлениям – по восьми румбам розы ветров – различны.

Дополнительно к факторам переноса следует отнести процесс молекулярной диффузии, который существует даже при отсутствии ветра и везде одинаков по своей интенсивности, независимо от погодных условий. Однако диффузионные процессы по интенсивности не могут конкурировать с воздействием ветра. Это следует из соотношения расстояний диффузионного переноса L_d и ветрового переноса L_w за одно и тоже время t :

$$\frac{L_d}{L_w} = \frac{2\sqrt{Dt}}{wt},$$

где D – коэффициент диффузии газовых молекул в воздухе ($D \approx 0,1 \div 1 \text{ см}^2/\text{с}$). При умеренной скорости ветра 2 м/с при $t = 1 \text{ ч}$. $L_d / L_w \approx 1 \cdot 10^{-4}$. Данное отношение расстояний переноса приблизительно соответствует вкладу диффузии в величину концентрации, то есть этот вклад не превышает 0,01%. При увеличении скорости ветра и временного интервала, для которого производится анализ поля концентрации, этот вклад становится еще меньше. Поэтому в качестве фактора переноса концентрации достаточно использовать процесс ветрового переноса.

В любой точке внешней зоны влияния металлургического предприятия при стационарном установившемся процессе распространения выбросов существует баланс вещества. В силу одних причин в каждую точку поступает некоторое количество вредного вещества (компонента выброса). В силу других – концентрация вредных ве-

ществ снижается. Основным фактором снижения концентрации является **химический фактор**. Компоненты выбросов с различной реакционной способностью, попадая в свободную атмосферу, взаимодействуют между собой и с компонентами окружающей среды. Реакции синтеза и распада, окисления и восстановления осуществляются между газообразными компонентами загрязняющих веществ и атмосферным воздухом. Некоторые процессы химических преобразований начинаются непосредственно с момента поступления выбросов в атмосферу, другие – при появлении для этого благоприятных условий – необходимых реагентов, солнечного излучения, других факторов. Кроме того, молекулы адсорбируются поверхностью пылевых частиц, впоследствии оседают на поверхность земли, водоемов, поглощаются растительным покровом и вымываются осадками. Учет всех этих процессов требует построения сложных моделей взаимодействия, индивидуальных для каждого компонента в отдельности. Однако, для основных компонентов выбросов можно использовать эффективные константы скорости разложения (распада) данного (i -го) компонента в воздушной среде – k_p , которые отражают суммарную скорость всех процессов, составляющих химический фактор. Эффективные константы k_i экспериментально определялись на протяжении нескольких десятков лет в различных лабораториях мира и для многих компонентов газовых выбросов их значения имеются в литературных источниках [3]. Значения k_p для различных компонентов выбросов различны.

Химический фактор можно считать основным фактором уменьшения концентраций компонентов выбросов в воздушной среде. Он не подвержен влиянию природных процессов и определяется лишь активностью самого компонента, распространение которого необходимо проанализировать. Остальные факторы падения концентрации – восходящие потоки воздуха, местные воздушные течения, конвективные процессы и т.д. – являются природно-обусловленными факторами и проявляются локально. Эти явления носят случайный характер, они могут присутствовать на пути распространения компонентов выбросов и снижать концентрации компонентов, но могут и отсутствовать. Учет их при расчете максимальной концентрации компонентов выбросов не требуется.

Таким образом, согласно принципу максимальной опасности целесообразно использовать три фактора, определяющих величину концентрации компонента выброса

во внешней зоне влияния: образующий фактор m_i , т.е. мощность выброса каждого i -го компонента, ветровой фактор, как фактор распространения всех компонентов выбросов в пространстве внешней зоны влияния и химический фактор k_i – фактор уменьшения концентрации каждого i -го компонента выбросов со временем.

На основании принципа максимальной опасности и представленных основных положений данного подхода можно сформулировать простую математическую модель, с помощью которой можно получить общую картину стационарного поля концентраций для каждого из компонентов выбросов конкретного металлургического предприятия на любой заданный промежуток времени. Для случая стационарного распространения химически активного компонента i под действием ветра в j -ом географическом направлении (одном из восьми направлений розы ветров) его концентрация c_{ij} определяется уравнением:

$$w_j \frac{dc_{ij}}{dr} + k_i c_{ij} = 0, \quad (1)$$

где r – расстояние от начальной точки (источника выбросов) вдоль географического направления j , w_j – скорость ветра в соответствии с розой ветров в j -ом направлении. Решение уравнения имеет следующий вид:

$$c_{ij}(r) = c_{i0} \cdot e^{-\frac{k_i \cdot r}{w_j}}. \quad (2)$$

Первая часть решения – c_{i0} – является средней максимальной концентрацией i -го компонента, которая реализуется при ветровом пространственном переносе данного компонента вдоль j -го направления розы ветров со скоростью ветра w_j . Величина c_{i0} определяется мощностью выброса m_i i -го компонента и площадью через которую происходит вынос данного компонента $S_j = d \cdot h$, где d_j – поперечник предприятия, перпендикулярный направлению j , h – высота слоя, в котором происходит вынос газовых выбросов (обычно высоту слоя считают равной высоте дымовых труб предприятия):

$$c_{i0} = \frac{m_i}{w_j S_j}, \quad (3)$$

Вторая часть решения – $e^{-\frac{k_i \cdot r}{w_j}}$ – представляет собой коэффициент снижения концентрации компонента с расстоянием от источника вследствие его химической активности.

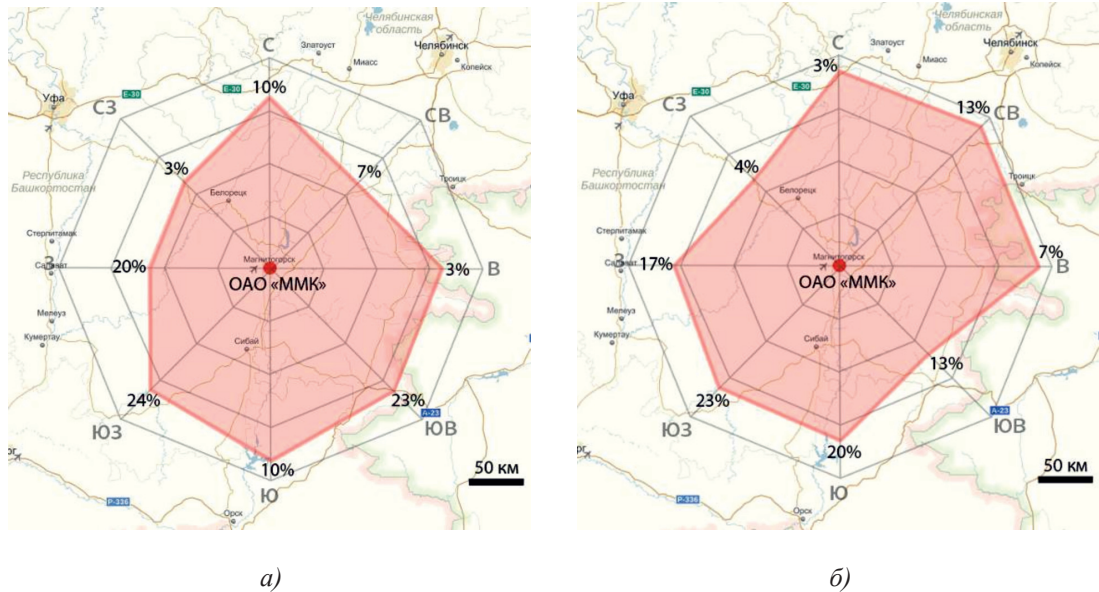
Для получения наглядной картины зависимости максимальной концентрации заданного компонента от расстояния (уда-

ленности от источника выброса) по восьми географическим направлениям восьми румбам розы ветров, то есть получения поля концентрации компонента в географических координатах в зависимости от мощности выброса и химической активности компонента – необходимо знание розы ветров региона расположения металлургического предприятия. Получение полной информации по распределению каждого компонента с помощью розы ветров позволяет совместить данные о максимально возможных (максимально опасных) концентрациях каждого компонента с географической картой местности расположения конкретного предприятия (с нанесением на карту изоконцентрационных линий). Это дает возможность построить прогнозную карту-схему стационарного распределения для любого из компонентов выбросов.

Для каждого географического региона существуют розы ветров, характеризующие ветровые характеристики для различных периодов времени. Розы ветров кроме средних скоростей ветра по каждому из восьми румбов содержат также фактор повторяемости – η_j – долю времени (в %), в течение которого ветер дует в направлении данного румба. Этот параметр имеет смысл вероятности или длительности сохранения максимального значения концентрации в течение периода времени, соответствующего розе ветров.

Таким образом, использование исходных данных, а именно: мощности выброса компонента, химической активности компонента, геометрических размеров предприятия (схемы его расположения) и розы ветров на местности расположения предприятия для определенного периода времени, – позволяет посредством принципа максимальной опасности получить карту-схему поля концентрации во внешней зоне влияния, сделать прогноз максимальной концентрации и вероятности ее достижения в любой географической точке региона на восьми лучах направлений света.

Роза ветров каждого региона имеет выраженное временное измерение (в течение года, сезона, месяца, недели, суток). Соответственно для каждого из этих временных периодов (для каждого компонента выбросов) может быть получено пространственное распределение максимально возможных концентраций, совмещенное с географической картой местности расположения металлургического комплекса (предприятия) – т.е. прогнозная карта для данного вещества на данный период времени.



Распределение концентраций NO_2 по восьми направлениям ветра для ОАО «ММК» в январе (а) и феврале (б)

Приведем пример использования предлагаемого подхода для разных временных отрезков в течении года. Нами проведена оценка концентрации оксида азота NO_2 в результате его распространения при выбросах в атмосферу региона г. Магнитогорска Челябинской области Магнитогорским Металлургическим Комбинатом (ОАО «ММК») в течение 2012 года. В качестве исходных данных были использованы: мощность выбросов NO_2 , составляющая в 2012 году 15651 т/год [6]; средняя площадь территории ОАО «ММК», с помощью которой был рассчитан средний размер предприятия, составляющий 12278 м; эффективный коэффициент химической активности NO_2 в атмосфере, равный по данным, приведенным в работе [3], 0,00002 1/с и ежемесячная роза ветров г. Магнитогорска Челябинской области [4]. Согласно решению стационарной модели – уравнению (2) – для каждого из восьми направлений розы ветров были рассчитаны расстояния от места выброса (ОАО «ММК») до точек, значение концентрации NO_2 в которых уменьшается до среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК_{СС}). Линии, соединяющие значения концентрации NO_2 , равные ПДК_{СС} по разным направлениям и образующие замкнутые восьмиугольные фигуры, нанесены на карту Челябинской области, что показано на рисунке. В процентах указаны вероятности появления и сохранения максимальных концентраций по каждому из направлений. Все территории внутри линий ПДК_{СС} могут

в течение интервала времени, для которого действует использованная для расчета роза ветров, подвергаться воздействию NO_2 с концентрацией, превышающей предельно допустимую. Видно, что эти территории по форме и размерам отличаются друг от друга для различных месяцев года (см. рисунок, а, б). Причиной этого является изменение характеристик ветра в течение года, которое определяется географическими особенностями расположения анализируемого предприятия.

Сравнительный анализ наших оценочных расчетов концентраций компонентов газовых выбросов ОАО «ММК» и результатов расчетов для этого же предприятия по стандартной методике «ОНД-86» для расстояний не более 10-20 км от предприятия (т.е. на границе внешней и внутренней зон влияния) показал адекватность наших расчетов и возможность их надежного использования с расширением пространственной зоны анализа.

Заключение

Представленный пример показывает, что предлагаемый общий подход позволяет делать обоснованные прогнозы пространственного стационарного распределения компонентов газовых выбросов металлургических предприятий на расстояниях в десятки и сотни раз превышающих размеры самих предприятий. За пределами нашего рассмотрения остались два вопроса, которые, на наш взгляд, нельзя обойти

при анализе вредного воздействия промышленных газовых выбросов на населенные пункты и природу в зонах влияния индустриальных центров. Это, во-первых, образование вторичных выбросов – веществ, появляющихся при химическом взаимодействии самих компонентов выбросов (первичных выбросов) с веществами внешней среды. Такое взаимодействие с одной стороны снижает концентрацию первичных выбросов, что уменьшает размер зоны их влияния. С другой стороны при этом образуются вторичные газовые вещества, также обладающие токсичными свойствами и распространяющиеся в окружающем пространстве. Учет распространения вторичных выбросов может позволить уточнить и, возможно, расширить границы зон влияния предприятий.

Во-вторых, требуется отметить, что роза ветров не дает полного описания атмосферных процессов для данного региона. Существуют нестационарные явления, связанные с циклонической деятельностью, движением атмосферных фронтов, локальной и масштабной турбулентностью. При нестационарном поведении атмосферных масс происходит быстрое перемещение всех компонентов воздуха, возможно появление неоднородного распределения концентраций, образование слоев, обогащенных одними веществами и обедненных другими. Стационарное поле концентраций при воздействии нестационарных процессов будет претерпевать искажения, концентрация компонентов выбросов на время прохождения атмосферных фронтов может испытывать короткопериодические изменения, как

в сторону понижения, так и в сторону повышения их значений.

Поэтому построение стационарных полей концентраций газовых компонентов техногенного происхождения является лишь первым, но необходимым шагом для получения достаточной информации о возможном влиянии выбросов предприятий в окружающем воздушном пространстве. Затронутые вопросы о влиянии вторичных выбросов и нестационарных процессов в атмосфере требуют отдельного рассмотрения.

Список литературы

1. Дьяконов К.Н., Дончева Л.В. Экологическое проектирование и экспертиза: учеб. для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2005. – С. 384.
2. Загороднев А.В., Акопова Г.С., Мельников А.В. Теоретические основы рассеивания в атмосфере организованных нестационарных выбросов газа на объектах газотранспортных предприятий // Экология. Ресурсосбережение. – 2011. – № 10. – С. 68–73.
3. Исидоров В.А. Экологическая химия: Учебное пособие для вузов. – СПб: «Химиздат», 2001. – С. 304.
4. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс] // отв. исп. О.Н. Бульгина; ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Обнинск. 2011. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <http://aisori.meteo.ru/ClspR> (дата обращения: 25.09.2014).
5. ОНД – 86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.
6. Социальный отчет за 2012 год [Электронный ресурс] / Открытое акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат». URL: http://mmk.ru/about/responsibility/social_report/ (дата обращения: 01.12.2014).
7. Petelin A.L., Yusfin Yu.S., Orelkina D.I., Vishnyakova K.V. Steel in Translation, 2013, vol. 43, No. 9, P. 539–543.
8. Vishnyakova K.V., Petelin A.L., Yusphin Yu.S. Diffusion Spreading of the Emitted Metallurgical Gas// Defect and Diffusion Forum. – 2011. – Vol. 309-310. – P. 239–242.