

УДК 669:504

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ВО ВНЕШНЕЙ ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ*

*Орелкина О.А., аспирант кафедры энергоэффективных
и ресурсосберегающих промышленных технологий*

*Петелин А.Л., д.ф.-м.н., профессор кафедры энергоэффективных и ресурсосберегающих
промышленных технологий (sasha@misis.ru)*

*Полулях Л.А., доцент кафедры энергоэффективных и ресурсосберегающих
промышленных технологий (larisa_m@misis.ru)*

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Предложена методика анализа пространственного распространения вторичных газовых выбросов в приземных слоях атмосферы внешней зоны влияния предприятий черной металлургии. Метод непрерывного источника вторичных выбросов позволил по данным ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» за 2013 г. провести расчет формирования поля концентрации вторичного выброса серной кислоты в воздушной среде географического региона комбината. Построены карты-схемы распределения серной кислоты для двух месяцев (июля и сентября), имеющих отличия в розе ветров, и установлено положение максимума концентрации вторичного выброса для этих двух вариантов.

Ключевые слова: первичные газовые выбросы, вторичные газовые выбросы, выбросы предприятий черной металлургии, роза ветров, поле концентраций.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-11-793-797

Воздух – это то, чем мы дышим и первое, что попадает в организм. Развивается крупная промышленность, количество газовых выбросов в воздушную среду нарастает лавинообразно. Надо их контролировать (мониторинг) и предсказывать их уровень с привязкой к конкретным географическим регионам (почти также, как предсказывают погоду и другие атмосферные явления).

Самое значительное количество вредных веществ выбрасывает крупномасштабная индустрия – энергетика, химия, металлургия и др. Предприятия в этих отраслях работают непрерывно, производительность за короткий срок меняется незначительно и, кроме того, сами они долгое время находятся на одних и тех же местах (в одних и тех же индустриальных центрах). Поэтому предприятия этих отраслей, которые являются основными поставщиками вредных летучих веществ в атмосферу, можно считать стационарными источниками газовых выбросов. В черной металлургии это металлургические комбинаты полного цикла – Новолипецкий металлургический комбинат (ОАО «НЛМК»), Магнитогорский металлургический комбинат (ОАО «ММК»), Нижнетагильский металлур-

гический комбинат (ЕВРАЗ НТМК) и др. Они создают в окружающей географической среде атмосферные зоны влияния. Для каждого металлургического центра атмосферную зону влияния можно условно разделить на внутреннюю и внешнюю зону влияния.

Внутренняя зона влияния – это территория самого предприятия и находящиеся в непосредственной близости территории – службы обеспечения, транспорт и др., что входит в инфраструктуру предприятия, а также жилые здания, магазины, медицинские учреждения (если они находятся в непосредственной близости от предприятия). Для внутренней зоны влияния, которая для крупных металлургических комбинатов может иметь размеры до нескольких десятков километров, существуют опробованные расчетные системы анализа концентраций вредных веществ в воздушной среде, учитывающие большое количество факторов, влияющих на распространение выбросов [1]. Зная инфраструктуру предприятия, метеорологические и географические данные региона, структуру подстилающей поверхности и используя большое количество эмпирических параметров, можно получить достоверную картину распространения вредных веществ вблизи источника выбросов.

Внешняя зона влияния – это вся территория, которая находится за пределами внутренней зоны. Принято

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение № 14.278.21.0065 от 20.10.2014 г., уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57814X0065.

считать, что выбросы вредных веществ на расстояниях в несколько сотен километров от источника не представляют особой опасности. Поэтому стандартные системы расчета рассчитаны на расстояния до 100 км. Однако данные мониторинга показывают, что это не так, поскольку, например, соединения серы могут иногда распространяться более чем на тысячу километров от источника выбросов.

Для расчета пространственного распределения первичных газовых выбросов стационарных источников металлургической отрасли имеется разработанная методика, изложенная в работах [2, 3], позволяющая построить во внешней зоне влияния поле концентрации любого из компонентов газовых выбросов, количество которого контролируется экологическими службами данного предприятия. В основу этой методики положен принцип максимальной опасности, которую может представлять анализируемое вещество при своем распространении в воздушной среде для населения, проживающего в зоне влияния предприятия. Для получения расчетных значений концентраций учитываются факторы распространения веществ выбросов после попадания их в атмосферу (ветер и диффузия) и фактор снижения их концентрации вследствие химического взаимодействия компонентов выбросов с компонентами воздушной среды. Баланс этих факторов позволяет определить стационарное поле концентраций первичных выбросов. При этом стационарное поле концентраций может быть получено для любого временного периода, для которого известны показатели розы ветров географического региона данного предприятия. Как показано в работе [3], для получения обоснованных прогнозов максимальной опасности газовых выбросов целесообразно получение расчетных данных и построение на их основе стационарных полей концентраций и карт-схем распространенности опасных летучих веществ первичных выбросов ежемесячно. Значения относительных концентраций компонентов выбросов, представленные на картах-схемах в долях по отношению к предельно допустимым среднесуточным концентрациям (ПДК_{сс}) и обозначенные с помощью изоконцентрационных линий (линий равных концентраций, аналогичных линиям равной высоты на географических картах), позволяют выделять области с возможными превышениями опасного порога загрязненности атмосферы и следить за динамикой этих областей в течение года.

Анализ максимальной опасности загрязнения воздушной среды в зонах влияния металлургических предприятий не ограничивается построением карт-схем распространенности первичных выбросов. Вследствие взаимодействия веществ, поступающих в атмосферу и являющихся непосредственными продуктами деятельности металлургических комбинатов, образуются вторичные летучие вещества (вторичные выбросы), представляющие во многих случаях не меньшую опасность

для окружающей среды, чем первичные. Так, например, газовые первичные выбросы азота и серосодержащих веществ (NO_x , SO_2) образуют в атмосфере летучие кислоты HNO_3 и H_2SO_4 , которые являются токсичными и могут распространяться или накапливаться в зоне влияния предприятия.

В данной работе предлагается метод, позволяющий проводить анализ вторичных выбросов и получать стационарные поля концентраций компонентов вторичных выбросов, совмещенные с географией внешней зоны влияния металлургического предприятия.

Основные принципы расчета концентраций вторичных выбросов содержатся в следующих позициях. Во-первых, любое вторичное вещество, появляющееся в атмосфере, является продуктом первичных выбросов. Поэтому анализ вторичных выбросов возможен только, если имеется стационарное поле концентраций первичных выбросов. При этом для каждого компонента вторичных выбросов есть основной компонент первичных выбросов, который является химической базой, истоком данного вторичного вещества. Например, если проводится построение поля концентрации вторичной серной кислоты, то необходимо иметь уже построенное поле концентраций первичного серосодержащего выброса (SO_2).

Во-вторых, образование вторичного вещества происходит в каждой точке воздушного пространства, где есть повышенная, по сравнению с фоновым значением, концентрация первичного компонента (повышенная концентрация SO_2 , если проводится анализ распространения вторичной H_2SO_4). Следовательно источником вторичного выброса является пространство, которое содержит избыточное количество соответствующего первичного компонента. Поэтому дальнейший анализ распределения вторичного вещества требует использования модели непрерывного пространственного источника, которая применяется в расчете. Сложностью использования этой модели является невозможность получения полного аналитического решения задачи, которое по заданным исходным данным позволяет однозначно определить зависимость концентрации вторичного выброса от пространственной координаты, т. е. рассчитать расстояние от заданного пункта, собственно от источника всех выбросов металлургического комбината, до места с заданной концентрацией вдоль любого румба розы ветров. С другой стороны, оказывается возможным подготовить алгоритм для компьютерного счета концентраций вторичных выбросов. Компьютерное решение задачи определения концентраций вторичных выбросов осуществляется на стандартных, уже имеющихся расчетных программах, создание новых программных продуктов не требуется.

В-третьих, внешние факторы, изменяющие концентрацию и перемещающие образующееся во всем пространстве зоны влияния предприятия вторичное вещество (вторичный выброс) остаются теми же, что и для

веществ первичных выбросов. Это ветер, диффузия и химическое взаимодействие с окружающей средой. Молекулы вторичного вещества, появившиеся в некоторой точке при взаимодействии первичного вещества с реагентами атмосферы, переносятся в следующую расчетную точку по лучу румба розы ветров и на пути также взаимодействуют с воздушной средой, из-за чего их количество уменьшается. В точке, куда они поступили в уменьшенном количестве, дополнительно возникают новые молекулы этого же вещества и общее их количество является суммой молекул, поступивших по ветру и появившихся вновь в этой точке. Процесс перехода от точки к точке многократно повторяется, что позволяет рассчитать концентрацию вторичного вещества на любом расстоянии от места поступления первичного выброса в атмосферу. Аналогичные расчеты, проведенные для восьми румбов местной (для данного комбината) розы ветров дают численный материал для составления поля концентрации вторичного выброса и построения прогнозной карты-схемы с изоконцентрационными линиями этого вещества, показывающими его концентрацию по отношению к ПДКсс в любом месте географического региона расположения предприятия.

В качестве примера приведем результаты расчета распространения одного из компонентов вторичных выбросов во внешней зоне влияния металлургического комбината ОАО «ММК». По данным ОАО «ММК» о количестве выбросов SO_2 за 2013 г. [4] был проведен анализ появления H_2SO_4 в атмосфере на различных расстояниях от металлургического комбината. На первом этапе по методике расчета концентраций первичных выбросов [2] был проведен расчет поля концентраций SO_2 во внешней зоне влияния предприятия. Данные расчета частично представлены в таблице. Расстояния, приведенные в таблице, показывают границу, за которой концентрации SO_2 всегда ниже, чем

ПДКсс. На расстояниях от комбината, меньших, чем указанные в таблице (для данного месяца при данном направлении ветра), имеется вероятность превышения уровня ПДКсс и чем ближе к предприятию, тем эта вероятность больше. Величина вероятности рассчитывается по величине фактора повторяемости ветра для географического направления (румба), по которому измеряется расстояние.

Используя поле концентраций первичного выброса SO_2 , был произведен компьютерный расчет поля концентраций H_2SO_4 , результаты которого представлены на рис. 1, 2 в виде карт-схем для двух месяцев – сентября и июля соответственно. В расчете были использованы кинетические данные, полученные эмпирически [5]: средняя скорость перехода SO_2 в H_2SO_4 составляет около $0,027 \text{ ч}^{-1}$; среднее время жизни H_2SO_4 в атмосфере оценивается величиной около 50 ч. Выбор двух месяцев для иллюстрации распространенности серной кислоты в регионе связан с тем, что розы ветров этих двух месяцев имеют существенные отличия [6]. Отличия в розах ветров отражаются в пространственном распределении концентраций. Сентябрьская карта-схема содержит максимум концентрации H_2SO_4 , которая превышает значение ПДКсс. Максимум концентрации июльской карты-схемы ниже (числа на изоконцентрационных линиях показывают отношение концентрации H_2SO_4 к значению ПДКсс). Весь характер распределения H_2SO_4 для двух приведенных периодов времени сильно отличается друг от друга, что видно по расположению и количественным значениям концентраций на изоконцентрационных линиях. В качестве общей характеристики можно привести средний размер области, внутри которой концентрация H_2SO_4 может превышать $1/2$ ПДКсс – этот размер в обоих случаях превышает 1,5 тыс. км.

В заключении следует отметить, что полученные расчетные данные демонстрируют немонотонную

Расстояния (км) от комбината по восьми направлениям розы ветров ежемесячно, на которых концентрация вещества SO_2 уменьшается до ПДКсс; рассчитано по данным ОАО «ММК» за 2013 г.

Distances (km) from the plant for the 8 directions of the wind rose on a monthly basis on which the SO_2 substance concentration is reduced to MPCs; calculated on the basis of OJSC “ММК” for 2013

Направление	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
с	371	395	373	371	235	235	373	373	395	371	371	395
с-в	278	373	235	317	235	317	317	317	373	373	317	373
в	371	373	371	317	317	373	317	317	371	371	373	373
ю-в	371	278	371	371	317	395	373	395	371	371	395	395
ю	395	371	371	235	317	395	317	317	373	373	373	371
ю-з	371	371	373	235	373	317	373	373	373	317	373	317
з	278	235	373	6	235	235	317	373	317	317	317	373
с-з	278	278	317	317	317	235	235	317	395	317	395	395

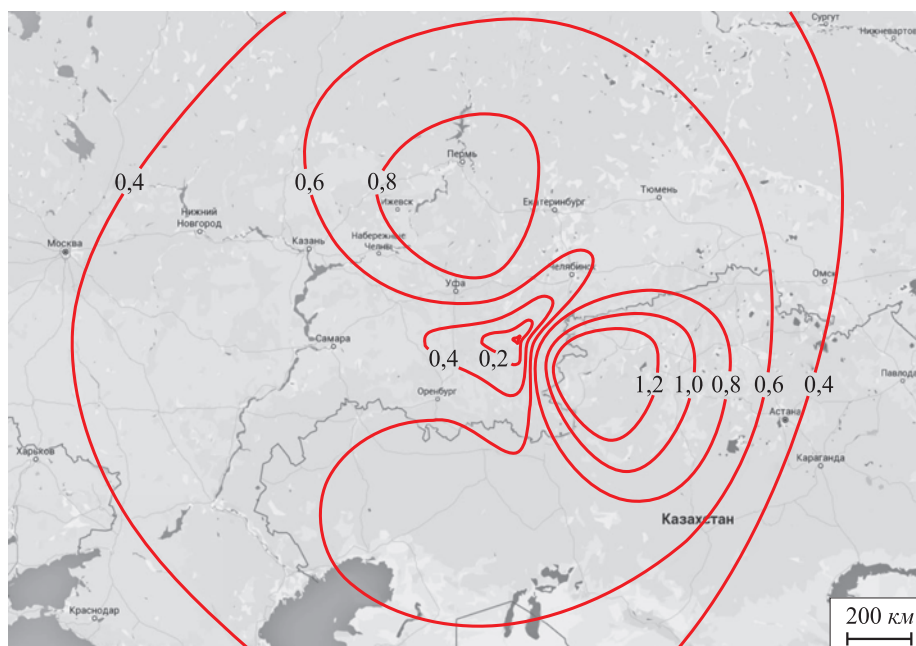


Рис. 1. Карта-схема распространения вторичного выброса H_2SO_4 в регионе ОАО «ММК» в соответствии со средней розой ветров сентября

Fig. 1. Schematic map of the spread of H_2SO_4 secondary emission in OJSC "MMK" region in line with the average wind rose in September



Рис. 2. Карта-схема распространения вторичного выброса H_2SO_4 в регионе ОАО «ММК» в соответствии со средней розой ветров июля

Fig. 2. Schematic map of the spread of H_2SO_4 secondary emission in OJSC "MMK" region in line with the average wind rose in July

зависимость концентраций вторичных выбросов от расстояний. Это означает, что повышения концентраций опасных летучих веществ возможны не только вблизи промышленных центров, где расположены предприятия, имеющие большую производительность (металлургические комбинаты), а значит и большое количество первичных газовых выбросов, но и вдали от них в местах, где появления вредных

газовых компонентов представляются случайностью. Возможно, что часто упоминающиеся кислотные дожди могут быть последствиями такого немонотонного распространения вторичных газовых выбросов. Представляется важным проведение сопоставлений расчетных данных о концентрациях вторичных выбросов с данными мониторинга в различных географических областях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ОНД – 86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеониздат, 1987.
2. 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.
3. Petelin A.L., Yusfin Yu.S., Orelkina D.I., Vishnyakova K.V. Predicting the risk of generalized air pollution by metallurgical enterprises // *Steel in Translation*. 2013. Vol. 43. No. 9. P. 539 – 543.
4. Социальный отчет за 2012 г. ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». URL: http://mmk.ru/about/responsibility/social_report/ (дата обращения: 01.08.2015).
5. Исидоров В.А. Экологическая химия: Учеб. пособие для вузов. – СПб: Химиздат, 2001. – 304 с.
6. Научно-прикладной справочник «Климат России». URL: <http://aisori.meteo.ru/ClspR> (дата обращения: 25.08.2015).

Поступила 20 июля 2015 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2015. VOL. 58. NO. 11, PP. 793–797.

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SECONDARY GAS EMISSIONS
IN THE OUTER INFLUENCE ZONE OF STEEL INDUSTRY*D.I. Orelkina, Postgraduate of the Chair “Energy-efficient and Resource-saving Industrial Technologies”**A.L. Petelin, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor of the Chair “Energy-efficient and Resource-saving Industrial Technologies” (sasha@misis.ru)**L.A. Polulyakh, Assist. Professor of the Chair “Energy-efficient and Resource-saving Industrial Technologies” (larisa_m@misis.ru)***National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS)**
(4, Leninskii ave., Moscow, 119049, Russia)

Abstract. Analysis techniques of the spatial distribution of secondary gas emissions in the surface layers of the atmosphere of the outer zone of the steel industry influence have been proposed. Application of the method of continuous source of secondary emissions to the data from JSC “MMK” for 2013 allowed calculating the formation of the secondary emission (sulfuric acid) concentration field in the aerial environment of the geographical region, where the plant is located. Maps of the sulfuric acid distribution for two months (July and September), which have differences in the wind rose, were plotted. The position of the secondary emission concentration maximum for these two variants was determined.

Keywords: primary gas emissions, secondary gas emissions, steel industry emissions, wind rose, concentration field.

REFERENCES

1. OND–86. Metodika rascheta kontsentratsii v atmosfernom vozdukhue vrednykh veshchestv, sodержashchikhsya v vybrosakh predpriyatii [Method of calculating of concentrations of harmful substances in the air contained in industrial emissions]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. (In Russ.).
2. Vishnyakova K.V., Petelin A.L., Yusfin Yu.S. Diffusion Spreading of the Emitted Metallurgical Gas. *Defect and Diffusion Forum*, 2011, Vol. 309–310, pp. 239–242.
3. Petelin A.L., Yusfin Yu.S., Orelkina D.I., Vishnyakova K.V. Predicting the risk of generalized air pollution by metallurgical enterprises. *Steel in Translation*, 2013, vol. 43, no. 9, pp. 539–543.
4. *Sotsial’nyi otchet za 2012 god. Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo “Magnitogorskii metallurgicheskii kombinat”* [Social Report for 2012. OJSC “Magnitogorsk Iron & Steel Works”]. Available at http://mmk.ru/about/responsibility/social_report/ (accessed 01.08.2015). (In Russ.).
5. Isidorov V.A. *Ekologicheskaya khimiya: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Environmental Chemistry: Textbook for universities]. St. Petersburg: “Khimizdat”, 2001, 304 p. (In Russ.).
6. *Nauchno-prikladnoi spravochnik “Klimat Rossii”* [Applied science reference book “Climate of Russia”]. Available at <http://aisori.meteo.ru/ClspR> (accessed 25.08.2015). (In Russ.).

Acknowledgements. The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation agreement no. 14.278.21.0065 on 10.20.2014, at the unique identifier of the agreement RFMEFI57814X0065.

DOI: 10.17073/0368-0797-2015-11-793-797

Received July 20, 2015