

УДК 504.054

**РАСЧЁТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ,
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ
ВЫБРОСА**

Николай Викторович Бучилин

кандидат технических наук, доцент

isk115599@rambler.ru

Иван Павлович Криволапов

кандидат технических наук, доцент

ivan0068@bk.ru

Сергей Юрьевич Щербаков

кандидат технических наук, доцент

Scherbakov78@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Исследования в области распространения газообразных веществ в воздушном пространстве представляют собой актуальную задачу т.к. дают возможность прогнозирования их скорости распространения концентрационные пределы при попадании в атмосферу. В настоящей работе рассматриваются методы расчёта скорости образования диоксидов азота и серы в воздухе в результате сжигания азот-и серосодержащих резин и пластиков. В качестве модельного источника распространения диоксидов служило сжигание материалов в лабораторной печи. Показано, что средняя скорость образования диоксидов азота и серы составляет 0,6 мг/сек и 2,7 мг/сек соответственно.

Ключевые слова: приземная концентрация, моделирование загрязнения, диоксид серы, диоксид азота, неконтролируемое горение, сжигание мусора.

Производственная деятельность человека приводит к загрязнению окружающей среды. В результате работы предприятий и котельных в атмосферный воздух поступают избыточное тепло, влага, пыль, вредные газы и пары. Рассеивание выбросов промышленных предприятий, выделяемых различными источниками, происходит под действием потоков воздуха атмосферы, взаимодействующих с выбросами [1-2]. Турбулентность воздушного потока возникает как в результате его взаимодействия с поверхностью земли и наземных сооружений, так и из-за влияния теплового взаимодействия в слоях воздуха, имеющих различную температуру.

Расчёт рассеяния выбросов состоит в определении концентрации вредных веществ в приземном слое воздуха. Величина максимальной концентрации каждого i -го вредного вещества в приземном слое атмосферы не должна превышать его предельно допустимой концентрации в атмосфере воздуха [3].

Зависимость концентрации атмосферных примесей от расстояния от источника выброса при условии отсутствия конвекции и турбулентности, как правило, является экспоненциальной либо линейной. Экспериментальное исследование таких зависимостей позволяет создать математическое описание распространения вредных веществ в атмосфере при сгорании различных видов топлива и отходов. Предыдущая работа [4] была посвящена экспериментальному определению концентрации вредных веществ в атмосфере в зависимости от удалённости от источника выброса. В качестве модельного источника выброса использовалась лабораторная печь со сжигаемой в ней резиной с добавлением полиуретана. Настоящая работа посвящена расчётному определению количества оксидов серы и азота, выбрасываемых в атмосферу, в результате работы модельного источника выбросов.

Максимальная приземная концентрация вредного вещества, C_m (мг/м³), при выбросе нагретой газовой смеси из одиночного (точечного) источника с круглым устьем при неблагоприятных метеоусловиях на расстоянии, X , от источника определяется по формуле [5-6]:

$$C_m = \frac{A \times M \times F \times t \times n \times \eta}{H^2 \times \sqrt[3]{V_p} \times \Delta T} \quad (1)$$

где:

A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы в регионе и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе в данной местности. Для Европейской территории и Урала севернее 52° с.ш. $A = 180$;

M – скорость образования вредного вещества (количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени), г/с;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий рельеф местности. Для равнинной местности с перепадом высот не более 50 м на 1 км $\eta = 1$;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе. Для газообразных вредных веществ $F = 1$, для крупнодисперсной сажи $F = 3$.

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b , $^\circ\text{C}$;

m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из источника выброса. При разности температур ΔT более 20°C : $n = 2$; $m = 2,5$;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м;

V_p – скорость потока газовой смеси, $\text{м}^3/\text{с}$. Для большинства предприятий и котельных значение V_p составляет порядка $1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Расстояние до источника выброса X_m при скорости ветра более 2 м/с составляет:

$$X_m = 10 \times H, \text{ м} \quad (2)$$

Исходя из формул (1) и (2) при заранее известной концентрации вредных веществ в заданных точках пространства скорость образования вредного вещества будет составлять:

$$M = \frac{C_m \times \left(\frac{X_m}{10}\right)^2 \times \sqrt[3]{V_p \times \Delta T}}{A \times F \times t \times n \times \eta} \quad (3)$$

Величина M является постоянной для определённого вредного вещества при условии протекания установившегося технологического процесса [7-9]. В настоящей работе расчёт величины M проводился по каждой точке удалённости от модельного источника выбросов. В таком случае характер расхождений значений данной величины позволит судить о точности расчётов. Результаты определения скорости образования диоксидов азота и серы в модельном источнике выбросов представлены в таблице 1.

Таблица

Расчётные значения количества диоксидов серы и азота, выбрасываемых в атмосферу

Расстояние от печи, м	Концентрация NO ₂ , мг/м ³	M _{NO₂} , x10 ³ г/сек	Концентрация SO ₂ , мг/м ³	M _{SO₂} , x10 ³ г/сек
0	28	0,375	134	1,609
0,5	14	0,751	60	3,218
1	7	0,724	30	3,6206
1,5	3	0,858	15	2,146
2	2	0,858	5	3,433
4	0,5	0,386	2	3,8619
6	0,1	0,343	1	2,746
8	0,05	0,537	0,4	2,146
10	0,05	0,375	0,2	1,609

Как видно из таблицы 1, средняя скорость образования диоксида азота $M_{NO_2} = 0,579$ мг/сек, а средняя скорость образования диоксида серы $M_{SO_2} = 2,71$ мг/сек. Относительная погрешность определения величины M при уровне значимости (доверительной вероятности) $\gamma = 0,999$ составляет для NO₂ $\delta = 37$ %, а для SO₂ $\delta = 145$ %. Полученные по проведённой методике расчёта

результаты в целом соответствуют реальной скорости разложения и сгорания резины, которая при температурах порядка 800 °С составляет 0,5 г/сек. Высокие значения погрешности связаны с флуктуациями концентраций диоксидов при их измерении при различном удалении от источника выброса. Для более точного определения скорости образования диоксидов требуется учитывать флуктуации концентраций, возникающих в результате конвекции воздушных масс.

Список литературы:

1. Ипполитов Е.Г., Артемов А.В., Батраков В.В. Физическая химия. М.: Издательский центр «Академия». 2005. 448 с.
 2. Коломиец А.А., Манаенков К.А., Найденов А.А. Оценка показателей надежности автотранспортных средств // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. С. 47
 3. Щербаков С.Ю., Криволапов И.П., Стрельников Д.И., Коробельников А.П. Характеристика методов проведения анализа риска // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 4. С. 253.
 4. Бучилин Н.В., Аксеновский А.В., Щербаков С.Ю. Моделирование распространения загрязняющих веществ, образующихся в результате работы источников выброса // Наука и Образование. 2023. Т. 6. № 1.
 5. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Введ. 1986-04-08. Ленинград: Гидрометеиздат. 1987. 94 С.
 6. Бянкин А.Г. Разрешения на выброс: учет фоновых концентраций // Экология производства. 2013. № 10. С. 42-48.
- Бобрович Л.В., Андреева Н.В., Картечина Н.В., Никонорова Л.И., Пчелинцева Н.В. Повышение точности определения вариационно-статистических характеристик и оценки различий в исследованиях //

Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 3 (29). С. 69-75.

7. Бучилин Н.В., Аксеновский А.В., Щербаков С.Ю. Кинетика ингибирования процессов горения угля // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 3.

8. Строкова Я.А., Клименко Н.Н. Комплексная щелочно-щелочноеземельная активация гранулированного доменного шлака // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. № 4. С. 130-132.

9. Картечина Н.В., Макова Н.Е., Шацкий В.А., Дорохова А.М. Информационная модель учета сельскохозяйственной техники // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. С. 40.

UDC 504.054

**CALCULATION OF THE SPREAD OF POLLUTANTS FORMED AS A
RESULT OF THE OPERATION OF EMISSION SOURCES**

Nikolai V. Buchilin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
isk115599@rambler.ru

Ivan P. Krivolapov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
ivan0068@bk.ru

Sergey Yu. Sherbakov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Scherbakov78@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University
Michurinsk, Russia

Abstract. Research in the field of gaseous substances distribution in the airspace is an urgent task, because make it possible to predict their propagation velocity concentration limits when released into the atmosphere. This paper discusses methods for calculating the rate of formation of nitrogen and sulfur dioxide in the air as a result of the combustion of nitrogen- and sulfur-containing rubbers and plastics. The combustion of materials in a laboratory furnace served as a model source of the dissemination of dioxides. It is shown that the average rate of formation of nitrogen and sulfur dioxides is 0.6 mg/s and 2.7 mg/s, respectively.

Keywords: surface concentration, pollution modeling, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, uncontrolled combustion, garbage incineration

Статья поступила в редакцию 05.09.2023; одобрена после рецензирования 16.10.2023; принята к публикации 27.10.2023.

The article was submitted 05.09.2023; approved after reviewing 16.10.2023; accepted for publication 27.10.2023.