

Анализ изменений скорости распространения звука при технологических загрязнениях атмосферного воздуха

А.А. Сорокова

АО «Альфа Банк»

602266, г. Муром, ул. Московская, 101

Статья посвящена анализу возможностей практического определения скорости звука в воздушной среде при наличии газообразных загрязнителей и твердых мелкодисперсных выбросов техногенных объектов. Рассмотрены основные и сопутствующие загрязнители, характерные для зон промышленности. Показано, что в ряде городов превышение уровня предельно допустимой концентрации может быть восьмикратным и более. Попадание загрязнителей в воздух может влиять на показатель плотности воздушной среды, поскольку, например, плотность воздуха – 1,293 кг/см³, SiF₄ – 4,6903 кг/см³, а CH₄ – 0,7186 кг/см³. Возможным вариантом оценки скорости звука является учет молярной массы образующейся молярной массы, поскольку, при неизменных значениях температуры среды, теплоемкости и давления, возможным переменным показателем является именно она. Значение молярной массы образовавшейся смеси может быть определено по весовым (процентным) соотношениям каждой компоненты, установленным на основании известных данных о выбросах химических веществ промышленностью города и автотранспорта. Полученное значение молярной массы даст возможность определить скорость звука в конкретном случае загрязнения.

Коэффициент затухания акустического сигнала зависит от содержания в атмосфере кислорода, азота, температуры, влажности и давления [1]. Как показывают результаты исследований [2], наибольшее влияние на затухание оказывает изменение температуры (на частоте 1 кГц от 3 дБ/км до 12 дБ/км), наименьшее - давление. Однако не было рассмотрено влияния показателей плотности среды распространения. А известно, что в зависимости от плотности среды меняется скорость распространения акустического сигнала.

Главными загрязнителями атмосферного воздуха в техносфере являются диоксид серы (SO₂), оксиды азота (NO₂), оксид углерода (CO) и твердые частицы (до 98% в общем объеме выбросов вредных веществ). Известны еще более 70 наименований вредных для атмосферы веществ. Но чаще всего превышают допустимые уровни именно главные загрязнители [3]. Рост содержания некоторых из них в промышленной зоне приводит к переносу их в жилую зону: например, наблюдается рост содержания диоксида азота на жилых территориях [4]. Так, в большинстве районов Петербурга имеет место превышение уровней ПДК газообразными загрязнителями: бенз(а)пирен – 1,4-3,5 ПДК, озон – до 2,5 ПДК, аммиак – 3,5-7,9 ПДК [3]. Есть данные о превышении допустимых уровней в г. Иваново: бенз(а)пирен – 1,4 ПДК, формальдегид – 4,6 ПДК, взвешенные вещества – 1,4 ПДК [5], других городах.

Каждый из компонентов (воздух, загрязнители) имеет определённую плотность: плотность сухого воздуха – 1,293 кг/см³, CO₂ – 1,9768 кг/см³, CO – 1,25 кг/см³, O₂ – 1,42895 кг/см³, SiF₄ – 4,6903 кг/см³, NO₂ – 1,9768 кг/см³, CH₄ – 0,7186 кг/см³, Cl₂ – 3,22 кг/см³, H₂O – 0,768 кг/см³, и т.д. [6]. Можно предположить, что изменение концентрации данных веществ или соединений в атмосфере может изменять плотность воздуха в данной точке города.

Скорость распространения звука в газовой среде описывается формулой [7]:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma k T}{M}}, \quad (1)$$

где γ – показатель адиабаты; k – постоянная Больцмана; T – температура в Кельвина; M – молярная масса.

Если принять температуру среды, теплоемкость и давление величинами постоянными, то очевидно, что для определения скорости звука в сложной газовой среде необходимо знать величину молярной массы M .

Состав и содержание газообразных и твердых загрязнителей воздуха может быть определен по статистическим данным, данным отдела экологии и природопользования, другим официальным источникам и базам данных. Исходя из известного перечня может быть вычислен объем каждой из известных составляющих, начиная с газового состава обычного воздуха в данном регионе и заканчивая всеми загрязнителями.

Зная молярный состав смеси в процентах можно определить среднюю молекулярную массу [8]:

$$M_{\text{см}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot M_i}{100}, \quad (2)$$

где $i=1 \dots n$ – число компонентов в смеси; y_i – молярные (объемные) доли компонентов, %; M_i – молекулярные массы компонентов.

В том случае, когда имеются массовые показатели компонентов смеси, среднюю молярную массу можно определить по формуле

$$M_{\text{см}} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{M_i}}, \quad (3)$$

где m_i – массовые доли компонентов, %.

Подставляя полученное значение $M_{\text{см}}$ в уравнение (1) можно получить значение скорости звука в данной точке городского пространства.

Если в дополнение к скорости звука нам необходимо знать еще и показатель плотности среды, вычисление может быть проведено по соотношению

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M_{\text{см}}}{22,41}, \quad (4)$$

где 22,41 м³ – объем 1 кмольа газа при нормальных физических условиях (давление 0,1013 МПа и температура 273,15⁰ К).

Относительная плотность смеси может быть определена по формуле

$$\bar{\rho}_{\text{см}} = \frac{\rho_{\text{см}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{см}}}{1,293}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{см}}$ – плотность смеси при нормальных условиях; $\rho_{\text{в}} = 1,293$ кг/м³ – плотность воздуха, характерная для европейской территории России при нормальных условиях.

Данная методика расчетов может применяться для расчета скорости звука в однородно-сложной газовой (воздушной среде) при известных концентрациях загрязнителей. В соответствии с рекомендациями стандартов по измерению уровня шума на открытых пространствах, скорость ветра не должна превышать 5 м/с [9]. В

противном случае мы будем иметь дело с постоянно меняющейся концентрацией состава смеси при изменяющемся включении пыли.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-38-00909-мол-а.

Литература

1. ГОСТ 31295.1-2005 Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой. – М: Стандартинформ, 2007. – 9 с.
2. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Оценка влияния метеорологических параметров на дальность распространения акустошумового загрязнения в селитебных зонах / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014, №1. – С.5-9.
3. Климат Санкт-Петербурга и его изменения / Под ред. В.П. Мелешко, А.В. Мещерской, Е.И. Хлебниковой. –СПб.: ГГО, 2010. -256 с.
4. Динамика загрязнения атмосферного воздуха в Москве / ГПБУ «Мосэкомониторинг». –Режим доступа: <http://www.mosecom.ru/air/air-dinamic/>
5. Молодцева А.В. Экологическая оценка воздействия загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения (на примере Ивановской области): Автореф. дисс... канд. биол. наук, Владимир, 2013.
6. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. -СПб.: НИИ Атмосфера, 2010. –Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/data1/58/58295/>.
7. Красильников В. А., Крылов В. В. Введение в физическую акустику. -М.: Наука, 1984. -403 с.
8. Савельев Г.Г., Смолова Л.М. Общая химия: учебное пособие / Томский политехнический университет. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006. – 202 с.
9. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий / Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно-методических документов. В 2 томах. Том 1. –СПб.: Компания «Интеграл», 2008. –С.355-384.