

ПРИМЕНЕНИЕ ГАУССОВОЙ МОДЕЛИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

Хуан Синьди¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»

В статье рассматривается вопрос применения распределения Гаусса для расчета концентрации загрязняющих веществ. При использовании принципа суперпозиции имеем возможность получить модели для расчета концентрации примеси от точечного источника непрерывного действия, мгновенного площадного и мгновенного объемного источников. Полученные средние квадратичные отклонения дают возможность оценить воздействие турбулентности воздуха на рассеивание загрязняющих веществ. Первая гауссовская модель позволяет получить диффузионную модель локального мелкомасштабного пространства и сделать прогнозы, затем на основе гауссовой модели исследования получается модифицированная модель для других рельефов и погодных условий. Поэтому точность моделирования и применимые условия трудно справляются с потребностями крупномасштабных сложных метеорологических условий моделей качества воздуха.

Ключевые слова: распределение Гаусса, концентрация, Гауссова модель, среднее квадратичное отклонение, примеси, мощность источника.

APPLICATION OF THE GAUSSIAN MODEL IN RESEARCH SPREADING AIR POLLUTION

Huang Xindi¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The article deals with the application of the Gaussian distribution for calculating the concentration of pollutants. When using the principle of superposition, we have the opportunity to obtain models for calculating the concentration of impurities from a point source of continuous action, instantaneous areal and instantaneous volumetric sources. The obtained standard deviations make it possible to assess the effect of air turbulence on the dispersion of pollutants. The first Gaussian model allows one to obtain a diffusion model of a local small-scale space and make predictions,

then, based on the Gaussian model of the study, a modified model is obtained for other reliefs and weather conditions. Therefore, the modeling accuracy and applicable conditions are difficult to cope with the needs of large-scale complex meteorological conditions of air quality models.

Keywords: Gaussian distribution, concentration, Gaussian model, standard deviation, impurities, source power.

Изучение загрязнения воздуха было тесно связано с метеорологией, химией атмосферы и другими дисциплинами, образуя новую дисциплину-метеорологию загрязнения воздуха [5]. Уже в 1950-е годы постепенно сформировалась система метеорологии загрязнения воздуха, появились боксовая модель, гауссовская модель, модель Лагранжа, модель Эйлера, модель плотного газа и другие пять типов моделей. Первая гауссовская модель позволяет получить диффузионную модель локального мелкомасштабного пространства и сделать прогнозы, затем на основе гауссовой модели исследования получается модифицированная модель для других рельефов и погодных условий [1,4], до сих пор гауссовская модель по-прежнему является основой большинства практических моделей, но ее создание основано на "концентрации загрязняющих веществ в соответствии с гауссовским распределением" при предположении, что установление, поэтому точность моделирования и применимые условия трудно справляются с потребностями крупномасштабных сложных метеорологических условий модели качества воздуха.

С развитием компьютеров исследования и разработка диффузионной модели загрязнения воздуха в основном осуществляются путем численного решения. Модель диффузии загрязнения воздуха может быть описана набором математических уравнений, основанных на механике жидкости, благодаря совершенствованию компьютерных возможностей, может быть непосредственно использована для расчета различных численных решений [6], основной задачей которых является решение эффекта диффузии атмосферной турбулентности. Численное решение модели высокой точности, может адаптироваться к различным сложным метеорологическим условиям, но относительный объем расчетов огромен, поэтому в настоящее время в основном выполняется на высокопроизводительных компьютерах и требует длительного времени расчета.

Для проведения исследований качества окружающего воздуха на основе данных мониторинга необходимо построить математическую модель, описывающую, влияние выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [1-9]:

$$q(t, x, y, z) = \frac{Q e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right)}}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}, \quad (1)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты источника загрязняющих веществ; Q – мощность источника; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – средние квадратичные отклонения частиц примеси по осям X, Y, Z соответственно, в данный момент времени t (2).

$$\sigma_x^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_x(z) dz, \quad \sigma_y^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_y(z) dz, \quad \sigma_z^2 = \frac{2}{h} \int_0^h K_z(z) dz, \quad (2)$$

где V_x – коэффициент, характеризующий скорость ветра; h – высота приземного слоя.

Применяя принцип суперпозиции, можно легко получить формулу расчета концентрации загрязняющих веществ от источника [5]:

1) источник представлен точечным источником непрерывного действия:

$$q(t, x, y, z) = \int_0^t \frac{Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right) \right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dt, \quad (3)$$

2) источник считается мгновенным линейным

$$q(t, x, y, z) = \int_{x_H}^{x_K} \frac{Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right) \right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dx_0, \quad (4)$$

3) источник считается линейным непрерывного действия

$$q(t, x, y, z) = \int_0^t \int_{x_H}^{x_K} \frac{Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right) \right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dx_0 dt, \quad (5)$$

4) источник считается мгновенным площадным

$$q(t, x, y, z) = \int_{y_H}^{y_K} \int_{x_H}^{x_K} \frac{Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right) \right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dx_0 dy_0, \quad (6)$$

5) источник считается площадным непрерывного действия

$$q(t, x, y, z) = \int_0^t \int_{y_H}^{y_K} \int_{x_H}^{x_K} \frac{Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x - x_0 - V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y - y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z - z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right) \right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dx_0 dy_0 dt \quad (7)$$

6) источник считается мгновенным объемным

$$q(t, x, y, z) = \int_0^t \int_{y_H}^{y_K} \int_{x_H}^{x_K} \frac{Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x - x_0 - V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y - y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z - z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right) \right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dx_0 dy_0 dz_0 \quad (8)$$

7) источник считается объемным непрерывного действия

$$q(t, x, y, z) = \int_0^t \int_{z_H}^{z_K} \int_{y_H}^{y_K} \int_{x_H}^{x_K} \frac{Q \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{(x - x_0 - V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y - y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z - z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t} \right) \right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dx_0 dy_0 dz_0 dt, \quad (9)$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты источника загрязняющих веществ; Q – мощность источника загрязнения; V_x – коэффициент, который характеризует скорость ветра. Система координат сориентирована так, что X совпадает с направлением ветра.

Для проведения имитационного эксперимента мы собрали однодневные значения концентрации загрязняющих веществ в 4 регионах Чэнду. Точки измерения те же, что и использованные в анализе. Полученные данные показаны в следующей таблице 1.

Таблица 1 – Концентрация загрязняющих веществ на улице «Цзиньцюань и Две реки»

Область			Цзиньцюань Две реки				
№ п/п	время	PM2.5	PM10	O3	NO2	SO2	CO
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0:00	78	44	19	7	3	5
2	1:00	78	45	14	10	3	5
3	2:00	78	42	10	14	3	5
4	3:00	76	37	9	14	3	6
5	4:00	80	34	11	11	3	6
6	5:00	93	46	16	11	4	6

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
7	6:00	91	51	29	10	4	5
8	7:00	80	50	36	9	4	5
9	8:00	74	49	43	7	3	5
10	9:00	78	51	48	7	3	5
11	10:00	78	50	52	7	4	5
12	11:00	74	47	49	8	5	5
13	12:00	70	45	44	11	4	5
14	13:00	70	43	37	13	4	5
15	14:00	85	55	30	18	4	6
16	15:00	97	62	23	17	4	6
17	16:00	97	64	22	15	3	6
18	17:00	95	63	16	19	3	6
19	18:00	95	62	8	23	3	5
20	19:00	97	62	3	26	3	5
21	20:00	95	61	3	23	3	5
22	21:00	97	61	3	22	3	6
23	22:00	102	60	2	22	3	6
24	23:00	117	63	2	20	3	6

Используя данные 4 областей, рассчитанное значение каждой области сравнивается с фактическим значением отдельно, чтобы гарантировать точность результата анализа. Мы импортируем данные из таблицы в MATLAB, а затем вычисляем соответствующее значение Y в соответствии с формулой подбора. Наконец, чтобы отразить взаимосвязь между результатом и фактическим значением, мы визуализируем данные и делаем два набора данных. Анализ результатов будем проводить, используя полученный график (рисунки 1, 2).

Как видно из рисунка 1, расчетное значение данных обычно выше, чем фактическое значение данных, а на изображениях Shilidian в жилой зоне горожан и Sanwayao в рабочей зоне две кривые очень близки, что указывает на то, что функция универсальна. Область имеет более высокую степень соответствия. В целом функция результата аппроксимации относительно близка к фактическому значению, что указывает на то, что функция может выражать взаи-

мосьвязь между концентрацией загрязняющих веществ и качеством окружающей среды в городской зоне Чэнду.

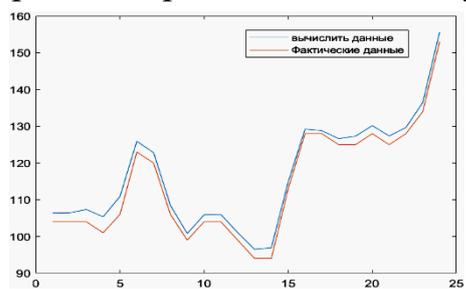


Рисунок 1 – Сравнение «Золотого источника и двух рек»

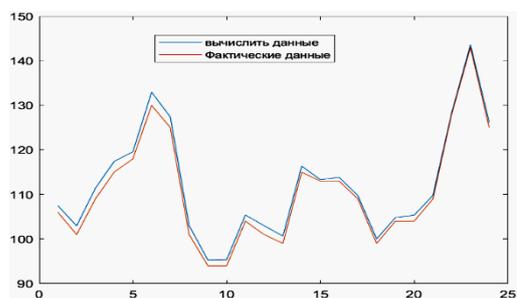


Рисунок 2 – Сравнение «Шилидиан»

В этом эксперименте обсуждалась только взаимосвязь между концентрацией загрязняющих веществ и индексом загрязнения, игнорируя влияние на нее факторов окружающей среды. В результате моделирования выявлено, что для Чэнду вдыхаемые твердые частицы PM_{2,5}, PM₁₀ и загрязняющий NO₂ оказывают большее влияние на окружающую среду, а также являются загрязняющими веществами с более высокими концентрациями, на которые следует обратить внимание и принять разумные решения для снижения концентрации таких веществ. Кроме того, при обработке данных было обнаружено, что концентрации загрязняющих веществ CO, O₃ и SO₂ относительно высоки в отдельные периоды времени и намного выше, чем среднесуточное значение (рисунок 3).

Субиндекс качества воздуха	Концентрация загрязняющих веществ (µg/m ³). Единицей измерения CO является (mg/m ³)										
	IAQI	Диоксид серы (SO ₂) в среднем за 24 часа	Диоксид серы (SO ₂) в среднем за 1 час	Диоксид азота (NO ₂) в среднем за 24 часа	Среднее значение диоксида азота (NO ₂) за 1 час	Твердые частицы (размер честиц менее 10 мкм) в среднем за 24 часа	Оксид углерода (CO) в среднем за 24 часа	Среднее значение оксида углерода (CO) за 1 час	Озон (O ₃) в среднем за 1 час	Озон (O ₃) 8-часовая средняя	Твердые частицы (размер честиц менее 2,5 мкм) в среднем за 24 часа
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	50	150	40	100	50	2	5	160	100	35	
100	150	500	80	200	150	4	10	200	160	75	
150	475	650	180	700	250	14	35	300	215	115	
200	800	800	280	1200	350	24	60	400	265	150	
300	1600		565	2340	420	36	90	800	800	250	
400	2100		750	3090	500	48	120	1000		350	
500	2620		940	3840	600	60	150	1200		500	

Рисунок 3 –Предельные значения концентрации загрязняющих веществ в Китае

Основным преимуществом гауссовой модели является то, что мы наблюдаем достаточно хорошее согласование с экспериментом. Гауссова модель рассеяния загрязняющих веществ была получена эмпирическим путем. Теоретическое обоснование получено только для наземных источников

Список литературы

1. Звягинцева, А.В. Информационно-аналитический расчет и построение карт рассеивания загрязняющих веществ при стоянках железнодорожных ци-

стерн с нефтепродуктами / А.В. Звягинцева, А.С. Самофалова, В.В. Кульнева // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 22-32.

2. Звягинцева, А.В. Моделирование неорганизованных выбросов пыли и газов в атмосферу при взрывных работах на карьерах горно-обогатительных комбинатов / А.В. Звягинцева, С.А. Сазонова, В.В. Кульнева // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 17-25.

3. Юдина, Н.Ю. Анализ современного программного обеспечения по анализу и оценке результатов наблюдений при прогнозировании и выдаче управляющих решений загрязнения окружающей среды / Н.Ю. Юдина, Н.В. Хальзев // Моделирование систем и процессов. – 2016. – Т. 9, № 1. – С. 58-61

4. Манохин, В.Я. Определение концентрации пыли и ее дисперсности в выбросах на асфальтобетонных заводах при решении задачи обеспечения безопасности труда / В.Я. Манохин, С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, М.В. Манохин // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 26-32.

5. Звягинцева, А.В. Расчет образования ртутьсодержащих отходов и разработка мероприятий по охране и рациональному использованию водных ресурсов / А.В. Звягинцева, С.А. Сазонова, В.В. Кульнева // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 4. – С. 30-36.

6. Зорич, В.А. Математический анализ задач естествознания : учебное пособие / В.А. Зорич. – Москва : МЦНМО, 2018. – 155 с.

7. Степанов, П.Е. Планирование эксперимента : учебно-методическое пособие / П. Е. Степанов. – Москва : Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2017. – 22 с.