

**Законы распределения скоростей воздушного потока,
характерных для городов компактной конфигурации
(на примере г. Ставрополь)**

Н.В. Мензелинцева¹, Ю.П. Иванова², А.А. Добринская², Е.В. Соколова³,

Т.В. Соловьева², О.О. Иванова², Е.А. Постникова²

¹*Волгоградский государственный университет*

²*Волгоградский государственный технический университет*

³*Северо-Кавказский федеральный университет*

Аннотация: В статье исследуются вопросы распределения скоростей воздушного потока в городах с компактной конфигурацией на примере Ставрополя. Также проведена проверка соблюдения законов распределения для различных скоростей ветрового в различных направлениях.

Ключевые слова: атмосферный воздух, направление и скорость ветрового потока, закон распределения, закон Вейбулла, смешанное гауссовское распределение, изменение скоростей воздушного потока, время суток, компактный город.

На распределение воздушных потоков в городской среде значительное влияние оказывают городская архитектура и планировка [1]. Исследования показали, что ветровые потоки в городской среде весьма отличаются от естественного распределения ветровых потоков [2,3].

В компактных городах, таких как Ставрополь, существуют определённые закономерности движения воздушных потоков, связанные с формой и особенностями застройки [2].

Компактные города, имеющие высокую плотность застройки и разнообразные архитектурные формы, характеризуются хаотичными воздушными потоками. Улицы, площадки и другие пространства способствуют формированию микроклимата, который отличается от окружающей природной среды. В Ставрополе, где большинство улиц расположены параллельно друг другу и пересекаются под прямым углом, наблюдается как ослабление воздушных потоков, так и их усиление в зависимости от исходного направления ветра [4-6]. На рис. 1 представлена карта компактного города Ставрополя.



Рис. 1. – Карта г. Ставрополя

Установление закона распределения скоростей воздушного потока является критически важным для многих приложений, включая градостроительную практику, проектирование и оптимизацию систем вентиляции, а также для разработки мероприятий по улучшению качества воздуха [7]. В частности, знание о том, как распределяются скорости ветра в различных направлениях, позволяет более эффективно планировать зеленые насаждения в городе, которые могут служить естественными барьерами для загрязняющих веществ и повышать комфорт проживания для граждан [8,9].

В данной работе рассматривались статистические данные о режимах ветра в городе Ставрополь, собранные за период с 2019 по 2023 годы, чтобы обеспечить всесторонний анализ изменений ветрового режима [10]. Проведенный анализ на основании данных, полученных с дневника погоды Gismeteo, позволил проанализировать изменение скоростей и направлений ветра в зависимости от времени суток [10]. Объем выборок, полученный по различным направлениям, отдельно для дневного и ночного времени суток представлен в табл. 1. Полученные данные позволяют сделать вывод, что в

течение суточного цикла направление ветрового потока значительно меняется для отдельных направлений в 30 – 40 % случаях. Наибольшие колебания преобладают в районе активного строительства, высокой плотности населения и интенсивного движения транспортных потоков.

Таблица 1.

Объемы выборок по различным направлениям распространения ветра для г. Ставрополя

| Направление ветра | Объем выборки | |
|-------------------|---------------|------|
| | День | Ночь |
| Север | 183 | 122 |
| Северо-запад | 172 | 254 |
| Северо-восток | 128 | 238 |
| Восток | 494 | 285 |
| Юг | 54 | 48 |
| Юго-запад | 53 | 107 |
| Юго-восток | 320 | 479 |
| Запад | 386 | 250 |

Авторами проведен анализ данных дневника погоды Gismeteo для города Ставрополя за период 2019-2023 гг. по 8 румбам [9].

Проведенные исследования показали, что для города Ставрополя характерны различные законы распределения скоростей воздушного потока для дневного и ночного времени суток.

Так, для северо-западного направления, дневного времени суток тест Колмогорова-Смирнова показал (p -знач. = 0,92), что лучше всего экспериментальные данные описываются смешанным гауссовским распределением.

Полученные значения сведены в табл. 2.

Таблица 2.

Значения параметров смешанного гауссовского распределения

| Название параметров | Первая функция плотности | Вторая функция плотности |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Коэффициент смеси | 0,85 | 0,15 |
| Среднее значение | 3,61 | 7,52 |
| Стандартное отклонение | 1,31 | 1,68 |

Подставляя данные значения в функцию плотности, получим следующее выражение:

$$f(V) = \frac{0,85}{1,31\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-3,61)^2}{2,43}} + \frac{0,15}{1,68\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-7,52)^2}{5,64}}.$$

На рис. 1 изображена гистограмма распределения и теоретическая кривая смешанного нормального распределения. На данном рисунке представлены характеристики функции распределения скоростей ветрового потока, для дневного времени суток, северо-западному направлению за 2019-2023 гг. [10].

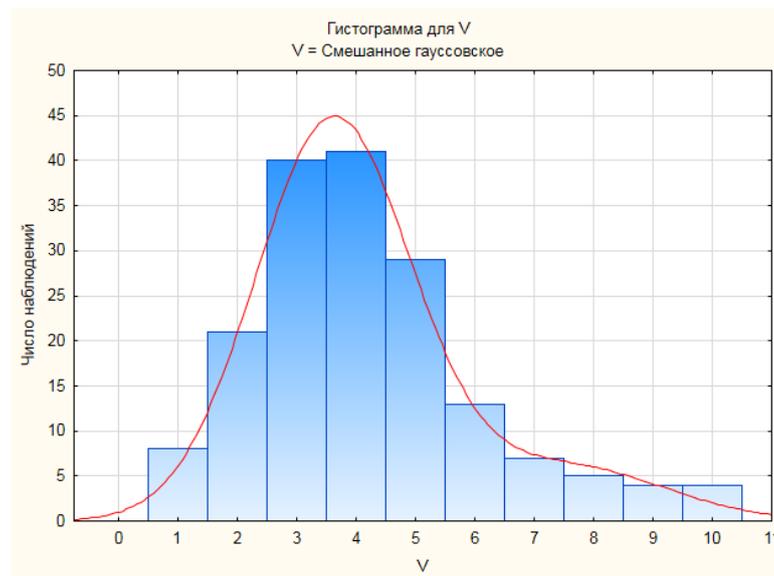


Рис. 1. – Смешанное гауссовское распределение

А для того же северо-западного направления, но ночного времени суток, согласно тесту Колмогорова-Смирнова (p -знач. = 0,92), лучше всего исходные данные описываются законом Вейбулла, со значением коэффициентов $\beta = 4,41$; $k = 2,13$, и функцией плотности:

$$f(V, k, \beta) = 0,09 \cdot V^{1,13} e^{-\frac{V^{2,13}}{28,58}}$$

На рис. 2 представлена гистограмма скоростей воздушного потока для ночного времени суток по северо-западному направлению.

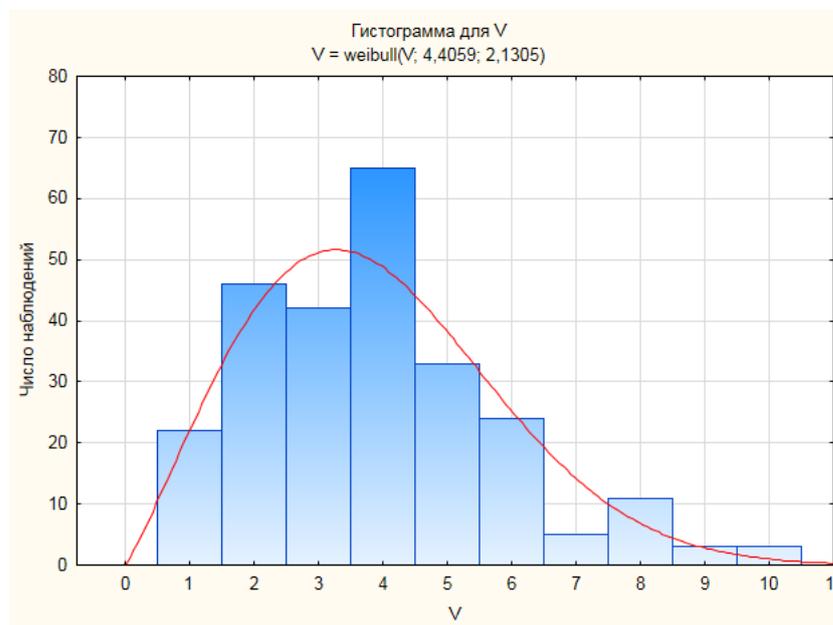


Рис. 2. – Закон Вейбулла

Таким образом, анализируя направление и скорость ветра как случайные величины, можно оценить вероятность появления «негативных» направлений ветра в условиях компактного города. Ставрополь не является крупным промышленным центром, и загрязнение воздуха здесь в значительной степени связано с объектами строительства и интенсивным автомобильным движением. Преобладающие восточные и западные ветры приносят в город вредные выбросы из этих источников. Проведенные исследования показали, что скорости воздушного потока в северо-западном направлении в дневное

время с 2019 по 2023 годы подчиняются смешанному гауссовскому распределению, а в ночное время — распределению Вейбулла.

Литература

1. Сидоренко И. В. Совершенствование методологии комплексной оценки загрязнения воздушного бассейна крупного города для обоснования мониторинга и системы контроля: дис. ... канд. техн. наук. - Волгоград, 2008. – 84 с.
2. Иванова Ю.П., Надер Б.Ю., Мишаков В.А., Шаповалова Ю.А., Иванова О.О., Азаров В.Н. Влияние метеорологических условий на рассеивание вредных выбросов в городской среде // Инженерный вестник Дона, 2020, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263
3. Донцова Т.В. Балансовый метод оценки загрязнения воздушной среды крупных городов на принципах биосферной совместимости: дисс. ... к-та техн. наук.– Волгоград, 2016. – 161 с.
4. Revich B.A., Sidorenko V.N. Human Health Damage from Environmental Pollution. Bulletin «Towards a Sustainable Russia», 2006. № 35. URL: ecologyandculture.ru/upload/File/Bull_35en.pdf
5. Härkönen, J. Regulatory dispersion modelling of traffic-originated pollution // Finnish Meteorological Institute, Contributions. - No. 38, FMI-CONT-38. University Press, Helsinki, 2002. – 103 p.
6. Азаров В.Н., Иванова Ю.П., Соколова Е.В., Сахарова А.А., Иванова О.О., Арзамаскова Л.М., Коновалов О.В. // Особенности мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в линейных и компактных городах на примере Волгограда и Ставрополя // Инженерный вестник Дона, 2023, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2023/8644
7. Иванова Ю. П. Повышение экологической безопасности линейного города при уменьшении воздействия оксида углерода и шума (на

примере г. Волгограда) : дис. ... к-та техн. наук / Иванова Ю.П. – Волгоград, 2021. – 174 с.

8. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 543 с.

9. Прогноз погоды // URL: gismeteo.ru/ (дата обращения 15.05.2024).

10. Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: Учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 2006, 368 с.

References

1. Sidorenko I. V. Sovershenstvovanie metodologii kompleksnoj ocenki zagryazneniya vozdushnogo bassejna krupnogo goroda dlya obosnovaniya monitoringa i sistemy` kontrolya [Improving the methodology for a comprehensive assessment of air pollution in a large city to justify monitoring and control systems]: dis. ... kand. techn. nauk. - Volgograd, 2008. 84 p.

2. Ivanova Yu.P., Nader B.Yu., Mishakov V.A., Shapovalova Yu.A., Ivanova O.O., Azarov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263

3. Donczova T.V. Balansovy`j metod ocenki zagryazneniya vozdushnoj sredy` krupny`x gorodov na principax biosfernoj sovместимости [Balance method for assessing air pollution in large cities based on the principles of biosphere compatibility]: diss. ...k-та техн. наук. Volgograd, 2016. 161 p.

4. Revich B.A., Sidorenko V.N. Human Health Damage from Environmental Pollution. Bulletin «Towards a Sustainable Russia», 2006. № 35. URL: ecologyandculture.ru/upload/File/Bull_35en.pdf

5. Härkönen J. Finnish Meteorological Institute, Contributions. No. 38, FMI-CONT-38. University Press, Helsinki, 2002. 103 p.



6. Azarov V.N., Ivanova Yu.P., Sokolova E.V., Saxarova A.A., Ivanova O.O., Arzamaskova L.M., Konovalov O.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2023/8644

7. Ivanova, Yu. P. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti linejnogo goroda pri umen'shenii vozdeystviya oksida ugleroda i shuma (na primere g. Volgograda) [Increasing the environmental safety of a linear city while reducing the impact of carbon monoxide and noise (using the example of Volgograd)]: dis. ... k-ta texn. nauk. Ivanova Yu.P. Volgograd, 2021. 174 p.

8. Kremer N. Sh. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. Moskva: YuNITI-DANA, 2002. 543 p.

9. Prognoz pogody' [Weather forecast]. URL: gismeteo.ru/ (Date accessed 15.05.2024).

10. Makarova N.V., Trofimecz V.Ya. Statistika v Excel [Statistics in Excel]: Ucheb. posobie. M.: Finansy' i statistika, 2006, 368 p.

Дата поступления: 16.11.2024

Дата публикации: 28.12.2024