

Исследование законов распределения ветровых потоков городов компактной и линейной конфигурации (на примере г. Ставрополя и г. Волгограда)

В.Н. Азаров, Ю.П. Иванова, А.А. Добринская, О.О. Иванова, М.С.

Соломахин, Д.В. Самофалов

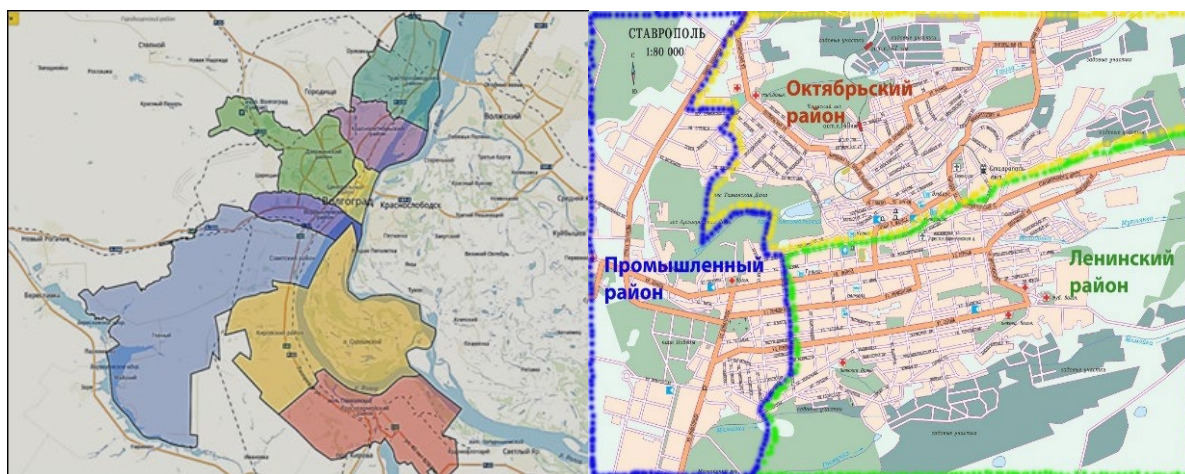
Волгоградский технический университет

Аннотация: В статье рассмотрены параметры ветра, а именно: направление и скорость ветрового потока, на примере таких городов как Ставрополь и Волгоград. Проведенные исследования позволили сделать вывод что, что данные параметры ветра целесообразно рассматривать с точки зрения случайных величин. С использованием данного подхода авторами были исследованы закономерности повторяемости скоростей ветрового потока в зависимости от направления и времени суток.
Ключевые слова: скорость и направление ветра, законы распределения, атмосферный воздух, закон Вейбулла, атмосферный воздух, логарифмически нормальный закон, метеоусловия, смешанное гауссовское распределение, линейный город, компактный город, роза ветров.

На перенос загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов воздействует ряд факторов, среди которых важное место занимают направление и скорость ветра [1]. Состояние атмосферного воздуха на таких территориях в значительной степени зависит от конфигурации городов и особенностей жилой застройки, которые оказывают существенное влияние на ветровые режимы внутри города. Проблема загрязнения воздушной среды внутри городов в настоящий момент является одним из наиболее приоритетных направлений исследований [2-4]. С целью изучения характера распределения ветров в городах различной конфигурации проведем сравнительный анализ двух крупных промышленных городов, таких как Волгоград и Ставрополь.

Волгоград – город, имеющий линейную структуру, тянущуюся вдоль береговой линии реки Волги почти на 100 км, при ширине в некоторых участках от 3 до 10 км [5]. Площадь, очерченная границами - около 400 км².

Волгоград делится на 8 районов, на территории которых сосредоточены промышленные предприятия (рис.1 (а)).



а) Волгоград

б) Ставрополь

Рис. 1. – Карты с территориальным делением городов на районы

Ставрополь – это небольшой город, который находится на склонах и возвышенностях в центре Предкавказья, на Ставропольской возвышенности в ее верхней части р. Ташла. Площадь Ставрополя составляет 171,7 км². Протяженность границы города составляет – 165,3 км. Ставрополь делится на три района: Промышленный, Ленинский, Октябрьский.

Для характеристики распределения ветров в городах различной конфигурации (линейном городе Волгограде и компактном городе Ставрополе) авторами была произведена выборка информации из дневника погоды Gismeteo по метеоусловиям за пятилетний период с 2019 по 2023 г. отдельно для дневного и ночного времени суток [6]. Роза ветров для данных городов за 2023 год изображена на рис. 2.

Анализ данных показал, что в течении года для линейного города Волгограде, так и города компактной конфигурации Ставрополь характерно преобладание ветра восточного и западного направления. Тем не менее, ветровой режим внутри городской застройки отличается для линейных городов, расположенных на равнинной местности, и компактных

городов, находящихся в холмистой местности [6,7]. Поэтому целесообразно проводить исследования, направленные на выявление закономерностей повторяемости воздушных потоков в городской застройке.

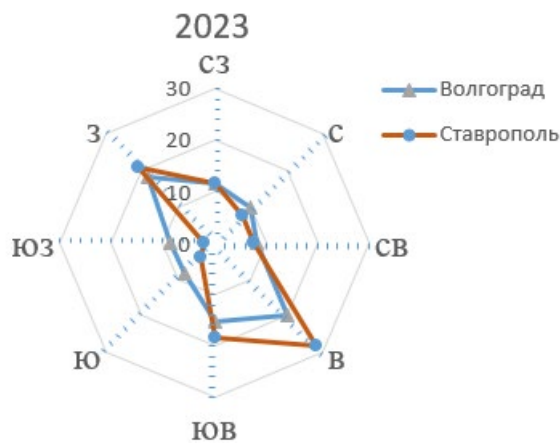


Рис. 2. – Роза ветров

Ранее авторами было проведено ряд исследований, направленных на установление закономерностей, дающих возможность описать повторяемость скоростей ветра для линейно-вытянутого города Волгограде [5,8,9].

Проведенный анализ данных ветровых режимов для дневного и ночного времени за 2019 -2023 гг. для Волгограда и Ставрополя позволил сделать вывод, о том, что скорость ветрового потока и его направления могут рассматриваться как случайные величины.

Это позволило провести проверку выполнения распределений, описываемых законами Вейбулла, Джонсона, SB, а также логнормального, нормального, смешанного гауссовского распределений для характеристики распределения скоростей ветра, с применением программы «STATISTIKA 10», на основании теста Колмогорова-Смирнова, а также критерия согласия χ^2 Пирсона при уровне значимости $\alpha = 0,05$ [10].

Как пример в статье представлены результаты исследования для Волгограда и Ставрополя расположенных по направлению восточного ветра, это касается как дневного, так и ночного времени суток.

Для восточного направления воздушного потока в дневное время суток для города Волгограда тест Колмогорова-Смирнова показал (p -знач. = 0,89), что исходные данные наилучшим образом описываются смешанным гауссовским распределением, параметры которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения параметров для смешанного гауссовского распределения для г.Волгограда

Название параметров	Первая функция плотности	Вторая функция плотности
Коэффициент смеси	0,41	0,59
Среднее значение	1,99	6,04
Стандартное отклонение	0,72	2,32

Подставляя данные значения в функцию плотности, получим следующее выражение:

$$f(V) = \frac{0,41}{0,72\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-1,99)^2}{1,04}} + \frac{0,59}{2,32\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-6,04)^2}{10,76}}$$

На рис. 3 показана гистограмма распределения скоростей ветрового потока для дневного времени суток, восточного направления за 2019-2023 гг. [10].

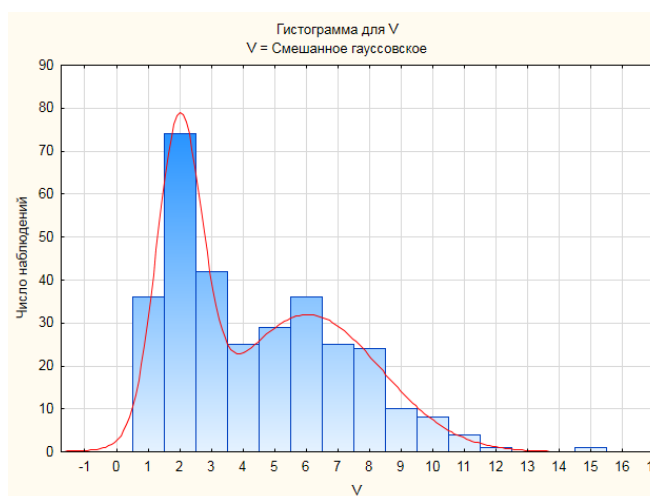


Рис. 3. – Смешанное гауссовское распределение

Для восточного направления ветрового потока в ночное время суток для города Волгограда тест Колмогорова-Смирнова показал (p -знач. = 0,87), что исходные данные наилучшим образом описываются законом Вейбулла, со значениями коэффициентов $\beta = 4,212$ и $k = 1,499$ и функцией плотности:

$$f(V, k, \beta) = 0,174 \cdot V^{0,499} e^{-\frac{V^{1,499}}{8,632}}$$

На рис. 4 показана гистограмма распределения скоростей ветрового потока по восточному направлению, ночному времени суток за 2019-2023 гг. Волгограда [10].

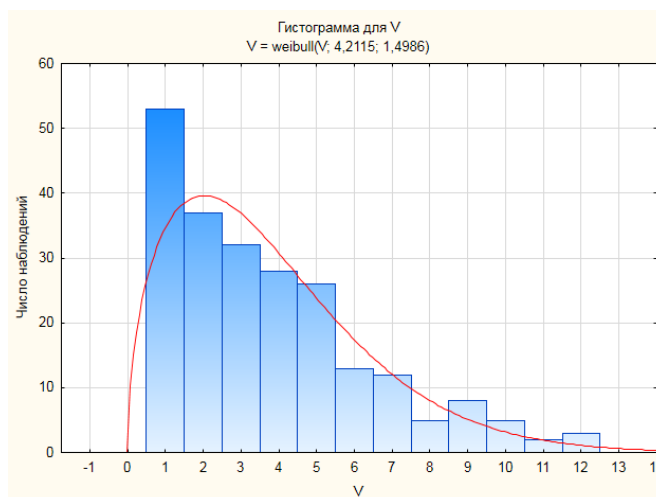


Рис. 4. - Закон Вейбулла

Для восточного направления ветра в дневное время суток для города Ставрополя тест Колмогорова-Смирнова показал (p -знач. = 0,89), что исходные данные наилучшим образом описываются законом Вейбулла, со значениями коэффициентов $\beta = 6,57$ и $k = 2,22$, и функцией плотности:

$$f(V, k, \beta) = 0,03 \cdot V^{1,22} e^{-\frac{V^{2,22}}{65,31}}$$

На рис. 5 показана гистограмма распределения скоростей воздушного потока по восточному направлению, дневному времени суток за 2019 - 2023 гг. для компактного города Ставрополя [10].

Для восточного направления ветра в ночное время суток для города Ставрополя тест Колмогорова-Смирнова показал (p -знач. = 0,87), что

исходные данные наилучшим образом описываются смешанным гауссовским распределением, параметры которого представлены в табл. 2.

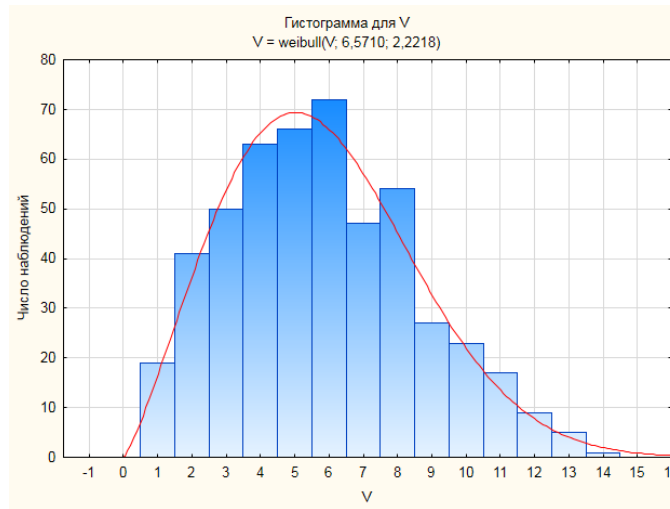


Рис. 5. – Закон Вейбулла

Таблица 2.

Значения параметров для смешанного гауссовского распределения для компактного города Ставрополя.

Название параметров	Первая функция плотности	Вторая функция плотности
Коэффициент смеси	0,81	0,19
Среднее значение	4,23	9,00
Стандартное отклонение	1,62	1,92

Подставляя данные значения в функцию плотности, получим следующее выражение:

$$f(V) = \frac{0,81}{1,62\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-4,23)^2}{5,25}} + \frac{0,19}{1,92\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-9,00)^2}{7,37}}$$

На рис. 6 указаны характеристики функции распределения скоростей воздушного потока по ночному восточному направлению, за 2019 - 2023 гг. для небольшого города Ставрополя [10].

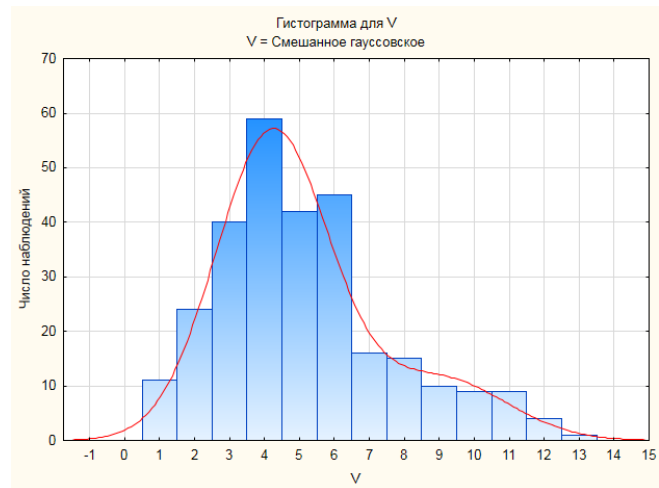


Рис. 6. – смешанное гауссовское распределение

На рис. 7,8 представлены дифференциальные функции распределения скоростей ветра за периоды 2019-2023 гг. для города Волгограда и Ставрополя, соответственно.

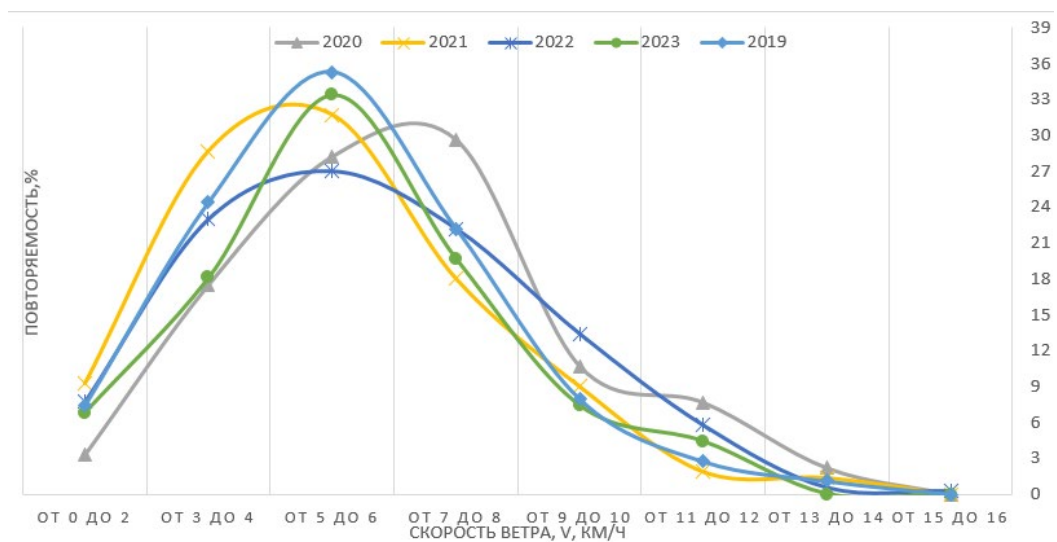


Рис. 7. – Дифференциальные функции распределения повторяемости скоростей ветра за периоды 2019-2023 гг. для города Волгограда

Проведенный анализ повторяемости скоростей ветра показал, что для линейного города Волгограда за периоды 2019-2023 гг. наиболее характерными являются скорость ветрового потока от 4 до 8 м/с, пик приходится на скорости ветра от 5 до 6 м/с.

Проведенный анализ повторяемости скоростей ветра показал, что для компактного города Ставрополя за периоды 2019-2023 гг. наиболее

характерными являются скорость ветрового потока от 3 до 5 м/с, пик приходится на скорости ветра от 3 до 4 м/с.

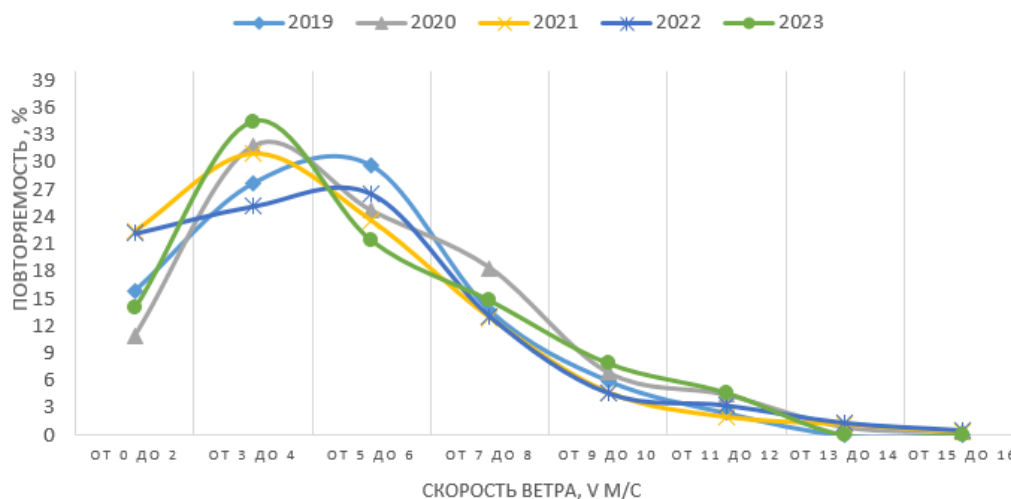


Рис. 8. – Дифференциальные функции распределения повторяемости скоростей ветра за периоды 2019-2023 гг. для города Ставрополя

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что, рассматривая направление и скорость ветрового потока как случайную величину, можно выявить закономерности, описывающие повторяемость скоростей ветра. Для восточного направления в дневное время суток в городе Волгограде повторяемость скоростей ветрового потока подчиняется смешанному гауссовскому распределению, тогда как для ночного времени суток — распределению Вейбулла. В городе Ставрополь для восточного направления ветра в дневное время повторяемость скоростей воздушного потока также подчиняется распределению Вейбулла, а для ночного времени — смешанному гауссовскому распределению.

Литература

1. Ottosen T., Berkowicz R., Ketznel M. Analysis of the impact of inhomogeneous emissions in a semiparameterized street canyon model // Geoscientific Model Development Discussions. 2015. Vol. 8, № 2. pp. 935-977.
2. Балакин В. В. Основные подходы к решению проблемы снижения

негативного воздействия транспорта на городскую среду. Транспорт: наука, техника, управление. 2007, № 6, С. 41-45.

3. Галева Э. М., Теплова Д. С. Загрязнение атмосферного воздуха городских агломераций и влияющие неблагоприятные метеорологические условия (на примере г. Уфы). Вестник Удмуртского университета, 2016, т.26, вып.1, с.7-14.

4. Прогноз погоды. URL: gismeteo.ru

5. 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

6. Genikhovich E.L., Gracheva I.G, Onikul R.L., Filatova E.N. Air-pollution modelling at an urban scale – Russian experience and problems Water, Air, & Soil Pollution: Focus, 2002. V. 2., №5-6. pp. 501-512.

7. Промышленная экология: учеб. для высш. учеб. заведений М-ва образования и науки Рос. Федерации / под общ. ред. В. В. Гутенева. – 2-е изд., доп. – Москва; Волгоград: ПринТерра-Дизайн, 2013. – 460 с.

8. Азаров В.Н., Иванова Ю.П., Соловьева Т.В., Иванова О.О., Лепехина Д.М. Проверка применения закона Вейбулла для описания изменения скорости ветра по различным его направлениям // Инженерный вестник Дона, 2022, № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7866.

9. Иванова Ю. П. Повышение экологической безопасности линейного города при уменьшении воздействия оксида углерода и шума (на примере г. Волгограда): дис. канд. техн. наук: 05.23.19. Волгоград, 2021. 174 с.

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

References

1. Ottosen T., Berkowicz R., Ketzler M. Geoscientific Model Development Discussions. 2015. Vol. 8, № 2. P. 935-977
2. Balakin V. V. Transport: nauka, texnika, upravlenie. 2007, № 6, pp. 41-45.
3. Galeva E. M., Teplova D. S. Vestnik Udmurtskogo universiteta, 2016, t.26, vy`p.1, pp.7-14.
4. Prognoz pogody` [Weather forecast]. URL: gismeteo.ru
5. 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
6. Genikhovich E.L., Gracheva I.G, Onikul R.L., Filatova E.N. Russian experience and problems Water, Air, & Soil Pollution: Focus, 2002. V. 2, №5-6. P. 501-512.
7. Promy`shlennaya e`kologiya [Industrial ecology]: ucheb. dlya vy`ssh. ucheb. zavedenij M-va obrazovaniya i nauki Ros. Federacii. pod obshh. red. V. V. Guteneva. 2-e izd., dop. Moskva; Volgograd: PrinTerra-Dizajn, 2013. 460 p.
8. Azarov V.N., Ivanova Yu.P., Solov`eva T.V., Ivanova O.O., Lepexina D.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7866.
9. Ivanova Yu. P. Povy`shenie e`kologicheskoy bezopasnosti linejnogo goroda pri umen`shenii vozdejstviya 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. kand. texn. nauk: 05.23.19. Volgograd, 2021. 174 p.
10. Kremer N. Sh. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. Moskva : YuNITI-DANA, 2002. 543 p.

Дата поступления: 17.11.2024

Дата публикации: 28.12.2024
