

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЖОНСОНА ДЛЯ ВЫРАВНИВАНИЯ РЯДОВ СКОРОСТИ ВЕТРА У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Рассмотрена возможность применения закона распределения Джонсона для выравнивания рядов скорости ветра у поверхности земли с учетом их годового и суточного хода в районе морской гидрометеорологической станции Ильичевск-порт.

Ключевые слова: распределение Джонсона, ряды скорости ветра, эксцесс, асимметрия.

Введение. Для выравнивания распределений скорости ветра, по мнению К. Брукса, трудно подобрать подходящее теоретическое распределение [2, 3, 8]. В этом случае, чаще всего, применяют распределение Шарлье – типа А, Релея, Вейбулла (тип 3) и Джонсона. Законы Максвелла и Релея достаточно хорошо описывают распределение скорости ветра на высотах, но для рядов скорости ветра у поверхности земли пригодны лишь в редких случаях. Радикальный путь сглаживания наиболее важной части интегральных кривых распределения предложен Анапольской Л. Е. и Гандиным Л. С. [1].

Целью исследования является подбор подходящего теоретического распределения для выравнивания рядов скорости ветра у поверхности земли на ст. Ильичевск-порт.

Материалы исследования. Исходными данными служат ежемесячные четырехсрочные метеорологические наблюдения (00, 06, 12, 18 UTC) за скоростью и направлением ветра в период 1981–1990 гг. на станции Ильичевск-порт.

Результаты и методы исследования. Анализ качества исходных материалов и проверка однородности рядов осуществлены с помощью параметра Стьюдента. Неоднородность чаще всего возникает из-за переноса флюгера, смены датчиков измерений застройки вблизи станции жилыми или промышленными объектами, вырубки деревьев, близости крупных насаждений деревьев, а также из-за смены наблюдателей. Важным также является положение самой станции [4, 7].

Морская гидрометеорологическая станция (МГС) Ильичевск находится на берегу Сухого лимана на расстоянии 25 км к юго-востоку от Одессы. Русло Сухого лимана, в южной части которого расположен порт Ильичевск, ориентировано с юго-востока на северо-запад [5]. Ветер с моря от востока-северо-восток до юго-юго-востока и лимана от северо-северо-запада до северо-северо-востока свободно проникает на МГС, не встречая препятствий. В связи с тем, что МГС находится на одной из площадок западного склона лимана, рельеф которого относительно пологий, то скорости ветра от юго-запада до северо-северо-запада по-видимому занижены.

Решение задачи выбора распределения начинается с выявления и отбрасывания из исходной выборки неоднородных членов ряда. Для проверки соответствия эмпирического распределения теоретическому используется критерий Пирсона « хи-квадрат » (χ^2) на 5%-ном уровне значимости. Причем, уровень значимости - это малая вероятность совершить ошибку первого рода, т.е. отвергнуть правильную гипотезу [10]. Теоретическое распределение χ^2 хорошо известно и затабулировано. Если гипотетическое распределение сильно отличается от данного (в нашем случае это распределение Джонсона), то χ^2 велико. Когда χ^2 больше определённых пределов, делают вывод, что наблюдаемое распределение значительно отличается от гипотетического. Доверительные границы критерия χ^2 зависят от числа степеней свободы n . Оно равно числу градаций m минус число ограничений. Ограничение, как правило, состоит в том, что общее число отдельных случаев в гипотетическом распределении должно быть таким же, как и число отдельных случаев в выбранном распределении.

Широкое распространение физико-статистических методов прогноза, базирующихся на построении регрессионных моделей, ставит задачу совершенствования исследований статистических характеристик метеорологических величин и явлений, выступающих в качестве предикторов (характеристики состояния атмосферы) и предиктантов (прогнозируемой величины). Знание особенностей распределения необходимо также для решения многих задач, таких как контроль достоверности наблюдений, расчетов выбросов и других. Наиболее просто решаются задачи статистического анализа при нормальном распределении рассматриваемых величин. Поэтому, даже если гипотеза о нормальности отвергается, все равно делаются попытки распространения выводов, полученных для гауссова распределения, на реальные данные. Так поступают, например, когда кривая распределения имеет только одну хорошо выраженную моду. Однако при существенных отличиях кривой распределения от гауссовой такой подход может привести к значительным погрешностям результатов анализа.

Наиболее эффективным способом преодоления трудностей, связанных с аппроксимацией сложных кривых распределения, является использование логарифмического преобразования, более общим является преобразование Н. Л. Джонсона [9]. Выравнивание статистических рядов по логарифмическому закону с помощью преобразования Джонсона несколько сложнее, так как выравнивающая функция зависит от трёх параметров. Зато данное преобразование позволяет получить целую систему функций плотности, которые могут быть использованы для описания более широкого класса статистических распределений. Джонсон предлагает для превращения распределения в нормальное ввести соотношения, содержащие логарифмическую функцию. Использование указанных логарифмических преобразований приводит к большому многообразию форм кривых и создает почти такую же обширную систему, как и система кривых Пирсона, но они отличаются более простой процедурой выравнивания и обеспечивают обширное многообразие форм кривых с помощью трёх семейств: S_L , S_B , S_U . Располагая оценками параметров распределения Джонсона, можно привести анализируемую реализацию к виду, не противоречащему нормальному закону распределения [6].

В основе эмпирических распределений Джонсона лежит преобразование исследуемой случайной величины x с помощью следующего соотношения:

$$z = \gamma + \eta \tau(x, \varepsilon, \lambda), \quad (1)$$

$$\eta > 0; \quad -\infty < \varepsilon < \infty; \quad -\infty < \gamma < 0,$$

где z - случайная величина, распределённая по нормальному закону $N(0,1)$;

ε, λ - параметры распределения Джонсона, определяющие пределы, в которых заключены значения величины x ;

η, γ - параметры Джонсона, определяющие форму кривой распределения;

τ - некоторая произвольная функция, для которой Джонсон предложил 3 формы, приводящие соответственно к трём семействам распределения S_L, S_B, S_U :

$$\tau_1 = \ln \frac{x - \varepsilon}{\lambda}, \quad x \geq \varepsilon; \quad (2)$$

$$\tau_2 = \ln \frac{x - \varepsilon}{\varepsilon + \lambda - x}, \quad \varepsilon \leq x \leq \varepsilon + \lambda; \quad (3)$$

$$\tau_3 = Azsh\left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda}\right), \quad -\infty < x < \infty. \quad (4)$$

Выбор подходящего семейства распределений осуществляется на основе анализа оценок центральных моментов распределения случайной величины x . Наиболее часто в практике обработки данных встречается S_B – семейство (3), используемое для случайных процессов, ограниченных снизу и сверху. Плотность распределения для этого семейства описывается выражением

$$P(x) = \frac{\eta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(x - \varepsilon)(\varepsilon + \lambda - x)} \cdot e^{\frac{z^2}{2}}, \quad (5)$$

где z определяется с помощью (1).

Прежде, чем приступить к проверке применимости распределения Джонсона для выравнивания рядов скорости ветра по данным метеорологической станции Ильичевск-порт, исходные ряды наблюдений исследованы с целью проверки их соответствия нормальному закону распределения. В качестве статистических характеристик использованы (табл. 1) средние значения скорости ветра (\bar{x}), среднеквадратические отклонения (σ_x), коэффициенты асимметрии (A) и эксцесса (E).

Рассмотрим статистические параметры скорости ветра по ст. Ильичёвск-порт. Значения средней скорости ветра \bar{x} варьируют от 2,3 м с⁻¹ (май 00 UTC) до 4,9 м с⁻¹ (декабрь 12 UTC). Суточный ход \bar{x} хорошо выражен в летние месяцы, к примеру, в июне он колеблется от 2,5 до 4,1 м с⁻¹ в 00 и 12 UTC соответственно. В холодное полугодие среднесуточная амплитуда более сглажена. Скорость ветра наиболее изменчива в Ильичёвске в зимнее время, максимальное σ_x составляет 2,6–2,8 м с⁻¹ в декабре, минимальное – 2,37–2,54 в январе, а по срокам она, как и следовало ожидать, наиболее изменчива днем. В переходные сезоны и летом распределение скорости ветра резко асимметрично и отличается от распределений в зимнее время меньшими значениями среднеквадратического отклонения – 1,30 – 2,10 в июле (00 и 12 UTC).

Так как скорость ветра имеет часто достигаемый нижний предел, распределение ветра резко и положительно асимметрично. Значение асимметрии колеблется от 0,52 (сентябрь 18 UTC) до 1,24 (сентябрь 06 UTC). Для распределения скорости ветра в порту Ильичёвск характерен умеренный и сильный эксцесс как положительный, так и отрицательный – 1,100 (сентябрь 06 UTC) и -0,370 (март 18 UTC). Анализ коэффициента вариации (C) показал, что максимум 0,680 наблюдается в октябре 00 UTC, а минимум 0,486 – в апреле 12 UTC. В среднем значения колеблются около 0,600. Значение ошибки среднеквадратического отклонения σ_σ уменьшается от января к июлю и колеблется от 0,11 до 0,05, а с июля по декабрь наблюдается более сложный ход этой статистики. Ошибки асимметрии σ_A для всех месяцев первой половины года, кроме февраля, равны 0,14, а для второго полугодия они составляют 0,04. Ошибки эксцесса σ_E не превышают 0,28 – 0,29 с января по июнь, а в последующие месяцы равны 0,03. По данным табл. 1 можно увидеть, что среднее значение скорости и среднеквадратическое отклонение постепенно увеличиваются от июля к декабрю. Максимальных величин эти параметры достигают в декабре 4,9 и 2,80 соответственно. В суточном ходе отмечается тенденция к росту значений \bar{x} и σ_x в дневные часы (12 UTC). К сроку 18 UTC наблюдается уменьшение этих параметров. Максимальные значения асимметрии 1,24 приходятся на утренний срок наблюдений (06 UTC), а минимальные – в дневной (12 UTC).

Ошибка среднеквадратического отклонения рассчитана по формуле:

$$\sigma_\sigma = \frac{0,5\sigma\sqrt{2+A}}{\sqrt{N}}, \quad (6)$$

коэффициента асимметрии

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6}{N}}, \quad (7)$$

Таблица 1 – Значения \bar{x} , σ_x , А, Е, С, σ_σ , σ_A , σ_E для скорости ветра на ст. Ильичёвск-порт. 1981-1990 гг.

Месяц	Срок	Статистические параметры							
		\bar{x}	σ_x	А	Е	С	σ_σ	σ_A	σ_E
Январь	00	4,4	2,54	0,87	0,300	0,577	0,10	0,14	0,28
	06	4,6	2,54	0,91	0,390	0,552	0,10	0,14	0,29
	12	4,8	2,77	0,92	0,130	0,577	0,11	0,14	0,28
	18	4,2	2,37	0,77	0,002	0,564	0,10	0,14	0,29
Февраль	00	4,3	2,59	0,87	0,070	0,602	0,11	0,15	0,29
	06	4,3	2,69	0,89	-0,040	0,626	0,11	0,15	0,29
	12	4,8	2,65	0,75	-0,150	0,552	0,11	0,15	0,29
	18	4,5	2,62	0,72	-0,170	0,582	0,11	0,15	0,29
Март	00	3,8	2,46	0,83	-0,005	0,647	0,10	0,14	0,28
	06	4,1	2,70	0,85	0,110	0,658	0,11	0,14	0,28
	12	4,8	2,55	0,68	-0,150	0,531	0,10	0,14	0,28
	18	3,8	2,37	0,53	-0,370	0,623	0,09	0,14	0,28
Апрель	00	3,4	2,23	0,94	0,420	0,656	0,09	0,14	0,29
	06	3,7	2,17	0,69	-0,110	0,586	0,09	0,15	0,29
	12	4,3	2,19	0,70	-0,230	0,486	0,08	0,14	0,28
	18	3,6	2,27	0,78	-0,040	0,629	0,09	0,14	0,28
Май	00	2,3	1,33	0,55	0,220	0,578	0,06	0,14	0,28
	06	3,0	1,82	1,10	0,740	0,607	0,07	0,14	0,28
	12	3,9	2,04	0,95	0,510	0,523	0,08	0,14	0,28
	18	2,9	1,77	0,77	0,250	0,610	0,07	0,14	0,28
Июнь	00	2,5	1,37	0,55	0,180	0,548	0,06	0,14	0,29
	06	2,8	1,47	0,60	-0,180	0,525	0,06	0,14	0,29
	12	4,1	2,04	0,67	-0,004	0,498	0,08	0,14	0,28
	18	3,0	1,84	0,95	0,650	0,613	0,07	0,14	0,28
Июль	00	2,5	1,30	0,72	0,400	0,520	0,05	0,04	0,03
	06	2,8	1,40	0,71	0,200	0,500	0,06	0,04	0,03
	12	3,9	2,10	0,12	0,900	0,520	0,08	0,04	0,03
	18	2,8	1,80	0,81	0,400	0,630	0,07	0,04	0,03
Август	00	2,6	1,40	0,62	0,100	0,530	0,05	0,04	0,03
	06	3,0	1,80	0,81	0,500	0,590	0,07	0,04	0,03
	12	3,7	1,60	0,72	-0,100	0,440	0,06	0,04	0,03
	18	2,6	1,30	0,63	0,100	0,500	0,05	0,04	0,03
Сентябрь	00	2,4	1,30	0,72	0,300	0,570	0,05	0,04	0,03
	06	2,9	1,80	1,24	1,100	0,630	0,07	0,04	0,03
	12	3,8	1,90	0,61	3,400	0,700	0,07	0,04	0,03
	18	2,7	1,60	0,52	0,200	0,580	0,06	0,04	0,03
Октябрь	00	3,4	2,30	1,12	0,500	0,680	0,09	0,04	0,03
	06	3,7	2,40	0,91	0,300	0,640	0,09	0,04	0,03
	12	3,6	2,50	0,72	-0,200	0,540	0,02	0,04	0,03
	18	3,4	1,10	0,93	0,200	0,580	0,07	0,04	0,03
Ноябрь	00	3,9	2,40	0,81	0,100	0,610	0,09	0,04	0,03
	06	4,3	2,60	0,82	-0,100	0,600	0,09	0,04	0,03
	12	4,8	2,60	0,50	0,400	0,520	0,02	0,04	0,03
	18	4,2	2,40	0,70	0,400	0,580	0,07	0,04	0,03
Декабрь	00	4,3	2,80	0,91	0,100	0,610	0,11	0,04	0,03
	06	4,3	2,60	0,81	-0,200	0,600	0,11	0,04	0,03
	12	4,9	2,60	0,60	-0,100	0,540	0,10	0,04	0,03
	18	4,4	2,60	0,90	0,000	0,600	0,10	0,04	0,03

коэффициента эксцесса

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24}{N}}, \quad (8)$$

где N - объём выборки, σ_σ , σ_A , σ_E - ошибки среднеквадратического отклонения, коэффициентов асимметрии и эксцесса соответственно.

По месяцам года величина ошибки увеличивается от летних к зимним, а в течение суток отмечается рост σ_σ в дневные часы и падение к вечеру на 16 и 2 % соответственно. Изменение ошибок эксцесса не наблюдается в течении всех сроков и составляет 30 %. Отклонение остальных параметров от пятипроцентного уровня значимости не значительны и в целом удовлетворяют точности вычислений. Из вышесказанного можно заключить, что использование нормального закона для сглаживания статистических рядов скорости ветра нецелесообразно. Поэтому в качестве теоретического закона распределения сделаем попытку применить распределение Джонсона.

Проверка на соответствие выравнивания исходных рядов приземной скорости ветра по закону распределения Джонсона даёт хорошие результаты, а параметры этого распределения точно описывают форму и семейство кривых распределения. В качестве примера в табл. 2 приведены параметры распределения Джонсона за первое полугодие. Анализ параметров распределения Джонсона показал, что в большинстве случаев распределение удалось подобрать при $\varepsilon = -0,6$. Пределы варьирования этой величины равны $-0,42 \dots -10,0$ (табл.2). Параметры γ и η , определяющие форму кривой распределения, изменяются в пределах $0,45 \dots 23,8$ и $0,94 \dots 6,25$ соответственно. В большинстве случаев γ больше единицы, что свидетельствует о принадлежности кривой распределения к семейству кривых S_L . К семейству S_B принадлежат кривые, показывающие распределение ветра за март (06 и 18 UTC), когда γ меньше единицы (рис.1). Для трех сроков (май, 06, 12 и 18 UTC) распределение Джонсона подобрать не удалось даже после корректировки параметров ε и других. Для срока 12 UTC распределение бимодальное, что свидетельствует о неподчинении распределению Джонсона даже при дальнейшей корректировке параметров. Для двух остальных сроков мая (00 и 18 UTC) вероятность Q меньше 1%, т.е. скорость ветра в этом месяце также практически не подчиняется выбранному закону. Анализ табл. 2 показал, что остальные ряды почти все подчиняются распределению Джонсона, кроме января 18 UTC, февраля 18 UTC, июня 18 UTC.

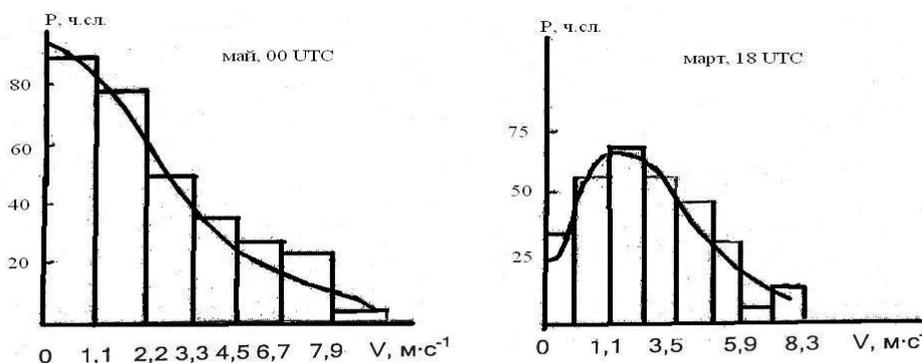


Рис. 1 – Статистическое и теоретическое (по Джонсону) распределения скорости ветра на метеорологической станции Ильичевск-порт

Таблица 2 – Значение параметров распределения Джонсона ε , λ , η , χ^2 , Q для скорости ветра на ст. Ильичёвск за первое полугодие 1981-1990 гг.

Месяц	Срок	Параметры				
		ε	γ	η	χ^2	$Q\%$
Январь	00	-1,00	12,97	2,42	11,5	2,11
	06	-1,01	0,77	1,35	7,72	5,02
	12	-0,45	1,62	1,77	6,21	10,0
	18	-0,62	2,28	1,43	12,2	0,70
Февраль	00	-0,64	4,53	1,85	10,9	0,44
	06	-0,63	5,31	1,66	11,3	1,00
	12	-0,80	2,75	1,71	9,34	1,15
	18	-0,85	1,32	1,27	11,0	0,90
Март	00	-0,60	3,12	1,36	6,20	10,0
	06	-0,63	0,84	0,99	7,31	6,24
	12	-0,65	1,83	1,26	9,57	2,21
	18	-0,61	0,45	0,94	9,18	2,72
Апрель	00	-10,0	23,8	6,25	6,33	4,21
	06	-0,61	1,06	1,16	13,9	0,33
	12	-0,42	1,28	1,18	5,45	6,61
	18	-0,53	0,87	0,99	10,7	1,30
Май	00	-1,30	3,94	2,25	13,5	0,90
	06	-	-	-	-	-
	12	-	-	-	-	-
	18	-0,55	3,82	1,98	10,3	0,63
Июнь	00	-1,93	9,40	2,57	12,2	1,65
	06	-0,55	0,92	1,20	5,52	1,93
	12	-0,65	1,52	1,60	1,23	5,30
	18	-0,63	12,9	1,89	9,42	0,91

Анализ данных за второе полугодие, позволяет сделать выводы, что при фиксированном значении ε (от - 0,6 до - 1,2) величина Q варьирует от 0,07 до 11,89 %. Это говорит о том, что распределение скорости ветра подчиняется распределению Джонсона. Оценивая значения Q по месяцам, видно, что в летние месяцы теория Джонсоновского распределения подтверждается лучше, чем в осенние, исключения составляют лишь сроки 15 UTC ноябрь – (12 %) и 09 UTC. Значения λ несколько увеличиваются в утренние часы, что свидетельствует об уменьшении скоростей ветра утром чаще, чем в другие сроки. Параметр λ изменяется в довольно широких пределах от 12,05 (15 UTC, сентябрь) до 84,92 (15 UTC, июль). Причем, масштабы изменения случайной величины λ больше в тёплый период, чем в холодный. Параметр η во всех случаях находится в пределах от 1,0 до 2,5. Параметр γ сильно превышает единицу, что говорит о принадлежности распределения к семейству S_L . К семейству S_B относятся кривые, показывающие распределение скорости ветра за 09 UTC, декабрь ($\gamma = 0,97$) и 15 UTC, ноябрь ($\gamma = 0,97$). В целом за полугодие параметр γ варьирует в пределах от 0,41 до 8,87.

Сравнительный анализ параметров этих распределений по различным станциям северо-западного побережья Черного моря позволит выявить ряд закономерностей, учитывающих не только сезонную и суточную изменчивости характеристик ветра, но и

влияние физико-географических условий расположения метеорологических станций на режим ветра у поверхности земли, как представлено в [3].

Выводы. Таким образом, проверка применения закона распределения Джонсона для выравнивания рядов скорости ветра в районе МГС Ильичевск-порт с учетом годового и суточного хода этих параметров, даёт удовлетворительные результаты. Практически во всех случаях одномодальных распределений, не подчиняющихся гауссовскому закону, для выравнивания рядов скорости приземного ветра можно использовать S_L и S_B семейства распределений Джонсона.

Список литературы

1. Анапольская Л. Е. Ветроэнергетические ресурсы и методы их оценки // Метеорология и гидрология. – 1978. – Вып. 7. – С. 11-17.
2. Антонович В. Д. Особенности временных рядов скорости ветра // Труды ГГО. – 1979. – Вып. 425. – С. 42-46.
3. Ауров В.В., Ивус Г.П., Сельсо Пасос Альберди, Фернандо Мединилья Наполес. Применение распределений Джонсона при выравнивании данных о состоянии атмосферы над западным районом о. Куба // Метеорология, климатология та гідрологія. – 1991. – Вып. 27. – С. 10 – 19.
4. Запелалов А. С., Христофоров Г. Н. Изменчивость поля скорости ветра в прибрежной зоне Черного моря // Метеорология и гидрология. – 1999. – Вып. 4. – С. 77-83.
5. Казаков А. Л. Об использовании различной информации по ветру в прикладных исследованиях // Метеорологія, гідрологія та кліматологія. – 2005. – Вып. 49. – С. 190-203.
6. Кендалл М. Дж., Стюард А. Теория распределений // М.: Наука, 1986. – 588 с.
7. Кондратюк В. И. Об устранении неоднородности в рядах ветра // Труды ГГО. – 1984. – Вып. 485. – С. 130-134.
8. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 296 с.
9. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах// М.: Мир, 1969.– 395 с.
10. Школьний Є. П., Лоєва І. Д., Гончарова Л. Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.]. – Одеса, 1999. – 600 с.

Застосування закону розподілу Джонсона для вирівнювання рядів вітру біля поверхні землі. Агайяр Е.В.

Розглянута можливість застосування закону розподілу Джонсона для вирівнювання рядів швидкості вітру біля поверхні землі з урахуванням їх річного і добового ходу в районі морської гідрометеорологічної станції Іллічівськ-порт.

Ключові слова: розподіл Джонсона, ряди швидкості вітру, ексцес, асиметрія.

Application of Johnson's distribution law for alignment series of wind speed at the ground surface. Agayar E.V.

It was considered the possibility of applying Johnson's distribution law for equalization series of wind speed at the ground surface with their annual and diurnal variations on the marine hydrometeorological station Illichivsk- port.

Key words: Johnson's distribution law, series wind speed, excess, asymmetry.