УДК 551.51-7

Собченко А.Ю. (Украина, Одесса)

ВЕРИФИКАЦИЯ ДВУМЕРНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕТРА РЕГИОНОВ УКРАИНЫ

Полученная ранее двумерная стохастическая модель ветра позволила обнаружить и изучить феномен корреляционного взаимодействия зональной и меридиональной составляющих вектора скорости ветра. При этом за рамками исследования остались вопросы количественной оценки влияния моментов двумерной плотности распределения на энергетические характеристики ветра, а также сравнительный анализ параметров стохастической модели и результатов исследования ветра, традиционно применяемых в климатологии и ветроэнергетике, без привлечения понятия плотности распределения вероятностей.

Рассмотрим ветер как случайный вектор с двумерной нормальной плотностью распределения:

$$\varphi(r,\theta)=\frac{r}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2}-\frac{2\rho xy}{\sigma_x\sigma_y}+\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)\right) \qquad (1)$$

Энергетические характеристики ветра традиционно описываются показателями модуля (абсолютной величины) вектора ветра, поэтому, используя Якобиан преобразования можно получить эквивалентную (1) плотность распределения в полярных координатах, интегрируя которую по величине угла и выполняя соответствующие преобразования, получим выражение для одномерной плотности распределения модуля вектора ветра:

$$\varphi(r)=\frac{r}{\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}}\exp\left(-\frac{r^2(\sigma_y^2+\sigma_x^2)}{4\sigma_x^2\sigma_y^2(1-\rho^2)}\right)I_0\left(\frac{r^2}{4\sigma_x^2\sigma_y^2(1-\rho^2)}\sqrt{\left(\sigma_y^2-\sigma_x^2\right)^2+4\rho^2\sigma_x^2\sigma_y^2}\right) \qquad (2)$$

где $I_0\left(\frac{r^2}{4\sigma_x^2\sigma_y^2(1-\rho^2)}\sqrt{\left(\sigma_y^2-\sigma_x^2\right)^2+4\rho^2\sigma_x^2\sigma_y^2}\right)$ - модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Структура полученного выражения позволяет отнести его к классу обобщенных распределений Релея-Райса.

Точное выражение для моментов полученной плотности зависит от двух специальных функций и выглядит достаточно громоздким для оперативного использования. Однако, используя свойства аргумента модифицированной бесселевой функции можно получить приближенные аналитические выражения для математического ожидания

$$m_1(r)=\frac{2\sigma_x^2\sigma_y^2(1-\rho^2)\sqrt{\pi}}{(\sigma_y^2+\sigma_x^2)^{\frac{3}{2}}} \qquad (3)$$

$$\sigma_\rho^2=\frac{4\sigma_x^3\sigma_y^3}{(\sigma_y^2+\sigma_x^2)^2}(1-\rho^2)\left(2-\pi\frac{\sigma_x\sigma_y}{\sigma_y^2+\sigma_x^2}(1-\rho^2)\right) \qquad (4)$$

полученной плотности распределения модуля вектора.

Массив метеоданных, подлежащих обработке в соответствие описанной модели представлен информацией АМСГ Одесса, Киев (Борисполь), Кривой Рог, Симферополь, Львов, Донецк, Днепр, Запорожье, Харьков и содержит осредненные получасовые данные приземного слоя о векторе ветра в полярных координатах за период с 2001 по 2014 годы.

Выводы:

– из 9 исследованных регионов пять (Киев, Кривой Рог, Днепропетровск, Запорожье, Харьков) характеризуются круговым или почти круговым нормальным распределением вектора ветра;

– четыре исследованных региона (Одесса, Симферополь, Львов, Донецк) характеризуются эллиптическим нормальным распределением вектора ветра, для двух (Симферополь, Львов) характерны высокие значения коэффициента корреляции компонент вектора;

– для подавляющего большинства регионов оценка параметров стохастической модели с приемлемой точностью (не хуже 95% для оценки математического ожидания и 85% для оценки дисперсии) соответствуют оценке среднего значения и дисперсии модуля вектора ветра. Исключение составляет регион Симферополя, для которого точность оценки составляет 70%, что можно пояснить заметно отличным от нуля значением математического ожидания компонент вектора ветра.