

УДК 519.2+600.1

ИССЛЕДОВАНИЕ НАРУШЕНИЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕБАНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В ЧЕРНОБЫЛЕ

И.И. Горбань¹, А.Д. Скорбун²¹ *Институт проблем математических машин и систем НАН Украины*² *Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины*

e-mail: igor.gorban@yahoo.com

1. Введение

Решение многих задач, возлагаемых на системы поддержки принятия решения, базируются на долгосрочных метеопрогнозах, исчисляемых месяцами и годами. При долгосрочном прогнозе, в отличие от краткосрочного, необходим учет изменения внешних факторов неадиабатического характера [1]. Для построения таких метеорологических прогностических моделей необходимы достоверные данные о статистической устойчивости различных параметров. При пренебрежимо малых нарушениях устойчивости возможно применение классических стохастических моделей, базирующихся на гипотезе идеальной статистической устойчивости физических явлений; при значительных же нарушениях необходимы более сложные модели, такие как гиперслучайные [2, 3], учитывающие тот факт, что при увеличении объема данных выборочные средние не стремятся к какому-то определенному значению, а непредсказуемо флуктуируют.

Статистическая устойчивость того или другого параметра, характеризующего состояние атмосферы, зависит в общем случае не только от интервала времени, на который осуществляется прогноз, но и от точки наблюдения. Особенно это касается параметров ветра.

Целью настоящей статьи является оценка на основе данных многолетних наблюдений статистической устойчивости скорости ветра на метеостанции г. Чернобыль вблизи атомной электростанции.

2. Методика оценки нарушений статистической устойчивости колебаний

Как ни странно, понятие статистической устойчивости до недавнего времени не было математически строго формализовано.

По определению [3], последовательность $X_1, X_2, \dots$ случайных величин (случайная выборка) считается статистически устойчивой (статистически стабильной), если при устремлении объема выборки N к бесконечности математическое ожидание выборочной дисперсии

$$\bar{D}_{Y_N} = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (Y_n - \bar{m}_{Y_N})^2 \quad \text{флуктуации выборочного среднего} \quad Y_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

($n = \overline{1, N}$) стремится к нулю, где $\bar{m}_{Y_N} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Y_n$ – выборочное среднее флуктуации среднего.

Последовательности, не удовлетворяющие этому условию, статистически неустойчивые.

Безусловно, по результатам наблюдения процесса на конечном интервале, невозможно абсолютно точно установить факт нарушения статистической устойчивости. Однако можно количественно оценить степень флуктуации выборочного среднего в фиксированные моменты времени и, анализируя динамику происходящих изменений, выявить некоторые тенденции, ведущие к нарушению статистической устойчивости.

Оценка статистической устойчивости скорости ветра проводилась по разработанной в работах [3, 4] методике, основанной на расчете параметров, характеризующих нарушение устойчивости на конечном интервале наблюдения.

Использовались параметр γ_N , представляющий собой математическое ожидание выборочной дисперсии $\bar{D}_{Y_N}$, нормированной на оценку дисперсии выборочного среднего $D_{Y_N} = \frac{1}{N^2} \sum_{n=1}^N D_{X_n}$ и объем выборки N , где D_{X_n} – оценка дисперсии случайной величины X_n , а также три производных параметра: $m_N = \sqrt{\gamma_N / (1 + \gamma_N)}$, $h_N = \gamma_N / \gamma_{0N}$ и $l_N = \frac{\gamma_N - \gamma_{0N}}{\gamma_N} = \frac{h_N - 1}{h_N}$, где γ_{0N} – единица измерения параметра γ_N , представляющая собой параметр γ_N , соответствующий идеальной статистически устойчивой последовательности N некоррелированных гауссовских отсчетов с постоянной дисперсией $D_{X_n} = D_x$ и нулевым математическим ожиданием.

Оценка γ_N^* параметра γ_N вычислялась либо по формуле $\gamma_N^* = \frac{\bar{D}_{Y_N}}{\bar{D}_{X_N}}$, либо по этой формуле с дополнительным усреднением по множеству реализаций (по годам), где $\bar{D}_{X_N} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D_X^*(n)$ – среднее оценок дисперсии $D_X^*(n)$, сформированное по отдельным фрагментам реализации последовательности X_n ($n = \overline{1, N}$). Оценки же m_N^* , h_N^* и l_N^* параметров m_N , h_N , l_N рассчитывались при наличии оценки γ_N^* по формулам $m_N^* = \sqrt{\gamma_N^* / (1 + \gamma_N^*)}$, $h_N^* = \gamma_N^* / \gamma_{0N}$ и $l_N^* = \frac{\gamma_N^* - \gamma_{0N}}{\gamma_N^*}$.

Факт нарушения устойчивости процесса устанавливался по тенденции изменения параметров γ_N^* , m_N^* , h_N^* и l_N^* при больших значениях N . Процесс считался устойчивым, если наблюдалось стремление значений параметров γ_N^* , m_N^* , l_N^* к нулю или параметра h_N^* к единице.

3. Оценка нарушений статистической устойчивости колебаний скорости ветра

Исследованию были подвергнуты результаты среднесуточных измерений скорости ветра v на метеостанции г. Чернобыль (рис. 1а). Измерения проводились с точностью 1 м/с на протяжении 11 лет с 2000 по 2010 гг. [5].

По результатам измерений были рассчитаны выборочное среднее $\bar{v}$ на протяжении всего интервала наблюдения (рис. 1б), а также оценки изменения на протяжении года математического ожидания m_v^* (рис. 1в) и среднеквадратического отклонения (СКО) s_v^* скорости ветра (рис. 1г). Оценки получены путем усреднения данных по 11 годам наблюдения.

По рис. 1б видно, что выборочное среднее не стремится к постоянной величине, т.е. процесс статистически неустойчив. Кроме того, выборочное среднее флуктуирует с периодом год, что обусловлено сезонными колебаниями средней скорости ветра (рис. 1в) и СКО (рис. 1г).

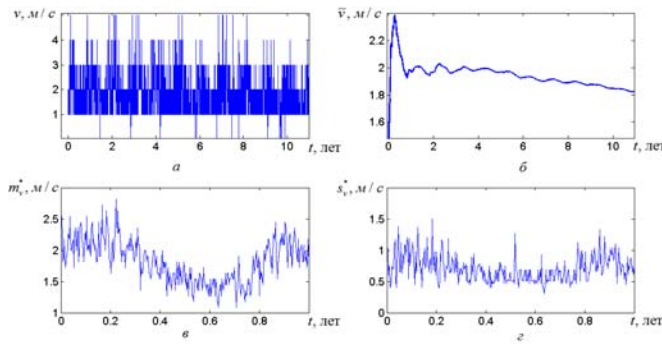


Рис. 1. Среднесуточные изменения скорости ветра во времени: *а* – динамика изменения скорости ветра за период наблюдения, *б* – динамика изменения выборочного среднего скорости ветра за период наблюдения, *в* – оценка изменения на протяжении года математического ожидания скорости ветра, *г* – оценка изменения на протяжении года СКО скорости ветра

Далее были рассчитаны параметры статистической неустойчивости γ_N^* , m_N^* , h_N^* и l_N^* (рис. 2 – 5, соответственно *а*, *б*, *в* и *г*, непрерывные линии). Рис. 2 и 3 получены без учета сезонных изменений скорости ветра, а рис. 4 и 5 – с учетом таких изменений (исходные данные корректировались путем вычитания оценки математического ожидания и нормировки полученной разности на оценку СКО). Рис. 2 и 4 получены без усреднения параметра γ_N^* по множеству реализаций (11 годам), а на рис. 3 и 5 – с таким усреднением.

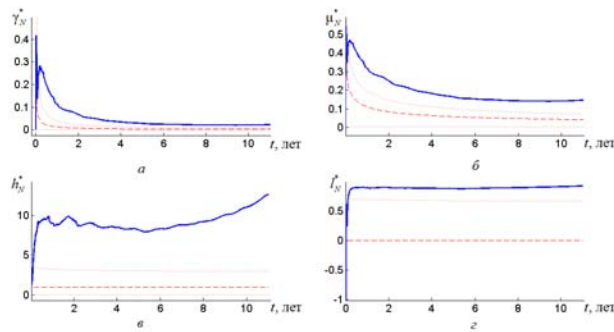


Рис. 2. Динамика изменения параметров статистической неустойчивости во времени за 11 лет наблюдения без компенсации сезонных изменений: γ_N^* (*а*), m_N^* (*б*), h_N^* (*в*) и l_N^* (*г*)

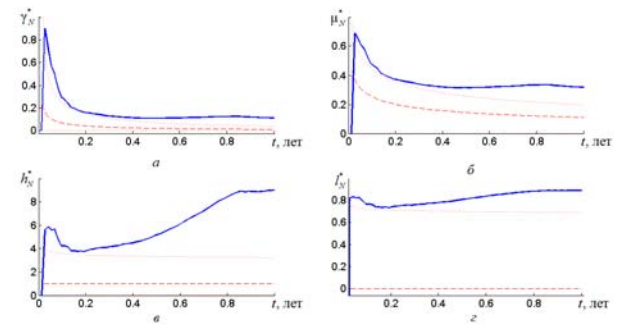


Рис. 3. Динамика изменения усредненных за 11 лет наблюдения параметров статистической неустойчивости без компенсации сезонных изменений: γ_N^* (*а*), m_N^* (*б*), h_N^* (*в*) и l_N^* (*г*)

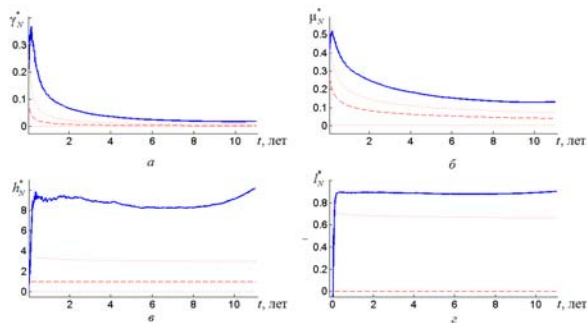


Рис. 4. Динамика изменения параметров статистической неустойчивости во времени за 11 лет наблюдения при наличии компенсации сезонных изменений: γ_N^* (*а*), m_N^* (*б*), h_N^* (*в*) и l_N^* (*г*)

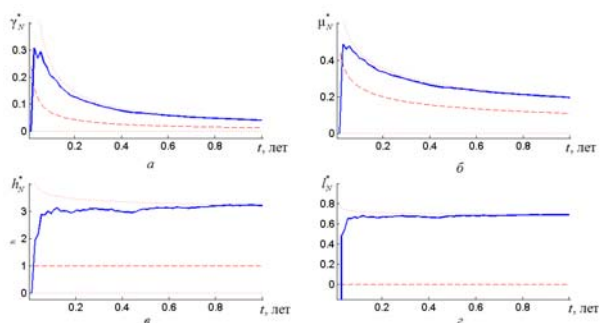


Рис. 5. Динамика изменения усредненных за 11 лет наблюдения параметров статистической неустойчивости при наличии компенсации сезонных изменений: γ_N^* (*а*), m_N^* (*б*), h_N^* (*в*) и l_N^* (*г*)

Для сравнения на рисунках пунктирными линиями изображены зависимости рассматриваемых параметров статистической неустойчивости от времени для идеального

статистически устойчивого процесса, а точечными линиями – соответствующие коридоры на уровне трех СКО.

Из рис. 2 – 5 видно, что колебания скорости ветра носят явно статистически неустойчивый характер. Нарушения устойчивости вызваны как сезонными изменениями, так и другими причинами. Статистический прогноз на основе стохастических моделей возможен при отсутствии компенсации сезонных изменений на интервале времени не более нескольких недель, при компенсации же сезонных изменений он увеличивается до 8–9 месяцев. При необходимости прогнозирования на больших интервалах времени использование стохастических моделей оказывается необоснованным. В этом случае необходимы модели другого типа, например, гиперслучайные модели, учитывающие нарушения статистической устойчивости.

Обратим внимание, что полученные результаты касаются конкретного района и конкретной точки наблюдения. Для выяснения возможности распространения их на другие районы и точки необходимы дополнительные исследования.

5. Выводы

1. Исследования данных одиннадцатилетнего наблюдения показали, что колебания скорости ветра на метеостанции г. Чернобыль носят статистически неустойчивый характер.

2. Существенную роль в нарушении устойчивости играют сезонные факторы. Однако даже при их компенсации колебания скорости ветра остаются в целом статистически неустойчивыми.

3. Статистический прогноз скорости ветра в исследованной точке на основе стохастических моделей возможен при отсутствии компенсации сезонных изменений на интервале времени не более нескольких недель, при компенсации же сезонных изменений – не более 8–9 месяцев.

4. Для выяснения возможности распространения полученных оценок на другие районы и точки наблюдения необходимо проведение дополнительных исследований.

Список литературы

1. Технологии динамико-статистических долгосрочных метеорологических прогнозов: современное состояние и перспективы. – Сайт северо-европейского климатического центра. – <http://seakc.meteoinfo.ru/training/206-2011-02-20-07-18-08>.

2. Горбань И.И. Теория гиперслучайных явлений. К.: ИПММС НАН Украины, 2007. – 184 с. – ISBN 978-966-02-4367-5. – http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban_i_i/index.html.

3. Горбань И.И. Теория гиперслучайных явлений: физические и математические основы. – К.: Наукова думка, 2011. – 320 с. – ISBN 978-966-00-1093-2. – http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban_i_i/index.html.

4. Горбань И.И. Статистическая неустойчивость физических процессов // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2011. – Т. 54, № 9. – С. 40 – 52.

5. Дані Галузевого державного архіву гідрометслужби України за 2000–2010 рр. – Центральна геофізична обсерваторія України.