

УДК 621.548

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛЫ ВЕТРА ДЛЯ ЗАДАЧ ВЕТРОЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Ковтун Г.К.

Научный руководитель - д.ф.-м.н., доцент Доброго К.В.

Для моделирования ветроэлектрогенерации в системе «Генератор – накопитель – потребитель», отладки алгоритмов управления работой накопителей электроэнергии необходимы модели генерации адекватные реальным графикам силы ветра и близкие к ним по основным статистическим характеристикам, - имитационные модели ветрогенерации.

Одним из подходов к моделированию графика силы ветра является использование стохастических моделей, например, «броуновского движения» [1]. Другие статистические методы и примеры моделирования сложных систем приводятся в [2,3]. Однако для создания таких моделей необходимо знание основных статистических характеристик реальных графиков силы ветра для использования этих данных при конструировании и настрое соответствующих моделей.

Первичные данные по силе ветра в Беларуси формируются гидрометеослужбой Беларуси или в рамках заказных исследований, например, при проектировании крупных ветропарков. На портале Гидрометра РБ [4] имеются среднемесячные данные по силе ветра по направлениям для ряда населенных пунктов. Данные получены в основном при 10 минутном осреднении показаний анемометров. Здесь же имеются прогностические карты. На сайте [5] имеются метеорологические данные по нескольким десяткам населенных пунктов Беларуси, полученные на высоте 10-12 метров с интервалом 3 часа.

В СНБ 2.04.02-2000 «Строительная климатология» приводятся данные по среднегодовой силе ветра для различных регионов Беларуси. Скорость ветра определяется по усредненному показателю анемометра за 2- 10 минут. Даны средние скорости за холодный период, максимальная из средних скоростей по румбам в январе, среднее число дней с скоростью более 10 м/с за холодный период.

Более детальные данные по скорости ветра в широком доступе имеются для Российской Федерации. На сайте высотной метеорологической мачты г. Обнинска [6] имеются архивы метеоданных с часовым интервалом за период более 10 лет. Применение таких данных позволяет осуществить построение функций распределения скорости ветра, анализа суточной, недельной, месячной и годовой изменчивостей распределения ветра, хотя для нужд конкретных проектов, необходимо использовать местные метеорологические данные.

В данной работе проведен анализ вариабельности месячных и годовых графиков силы ветра, а также автокорреляционные функции этих графиков основанный на метеорологических данных. Показаны также различия статистических характеристик графиков силы ветра на разных высотах измерения.

Определим вариабельность распределений скорости ветра, установленных за два последовательных периода времени F_1 и F_2 как относительная величина среднеквадратичных отклонений этих распределений друг от друга

$$Var(F_1, F_2) = \frac{1}{\max(F_1)} \sqrt{\frac{1}{N_{\max}} \sum_i^{N_{\max}} (F_1(i\Delta x) - F_2(i\Delta x))^2}, \quad (1)$$

Стандартным шагом по скорости для распределения является $\Delta x = 1$ м/с.

На рисунках 1-6 приведены статистические характеристики графиков силы ветра.

На рис.1 приводится характерное месячное распределение силы ветра для трех высот измерения (8, 121, 321 м) за летний сезон - июль 2016. Оси абсцисс соответствует скорость ветра с шагом 1 м/с. Оси ординат - доля зарегистрированных значений скорости ветра в

пределах шага от общего числа зарегистрированных значений за обозначенный период. Из графика видно, что максимальное значение ветра и среднестатистическое его значение выше для больших высот измерения. При этом разница между полем скоростей на высотах 121 и 321 м невелика. Это связано с естественным торможением потока при взаимодействии с рельефом и поверхностными препятствиями.

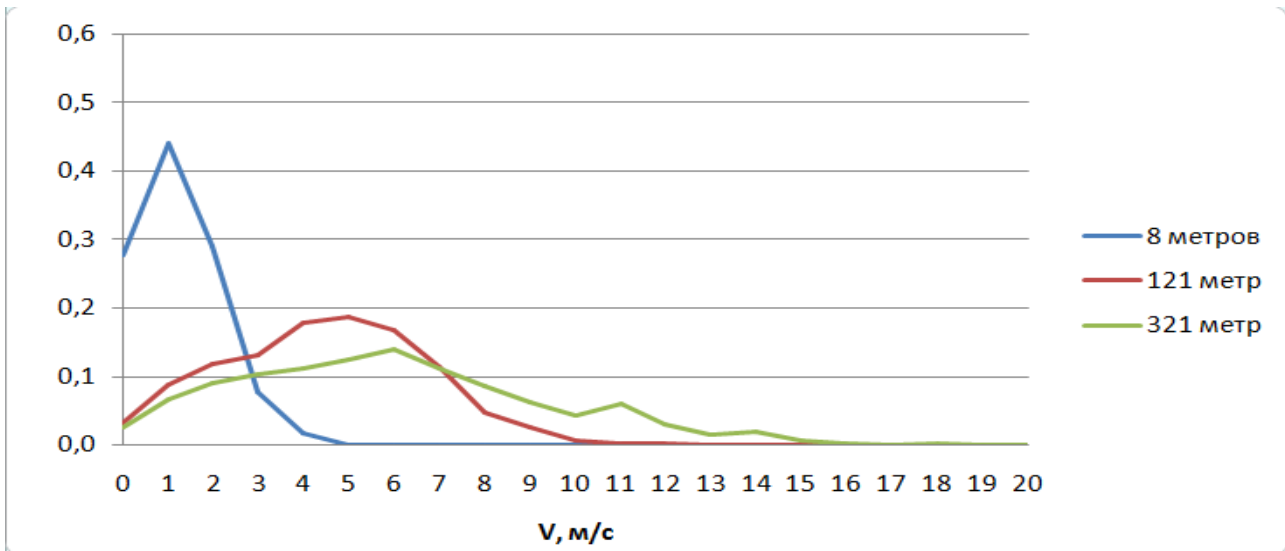


Рисунок 1. Характерное месячное распределение силы ветра для трех высот измерения (8, 121, 321 м). Летний сезон, июль 2016. Обозначение кривых – в поле графика

Аналогичный график распределения силы ветра за декабрь 2015 приведен на Рис.2. В целом графики Рис.1,2 схожи, однако средняя сила ветра в зимний сезон существенно выше, а также сильнее выражено различие значения скорости ветра по мере удаления от поверхности Земли.

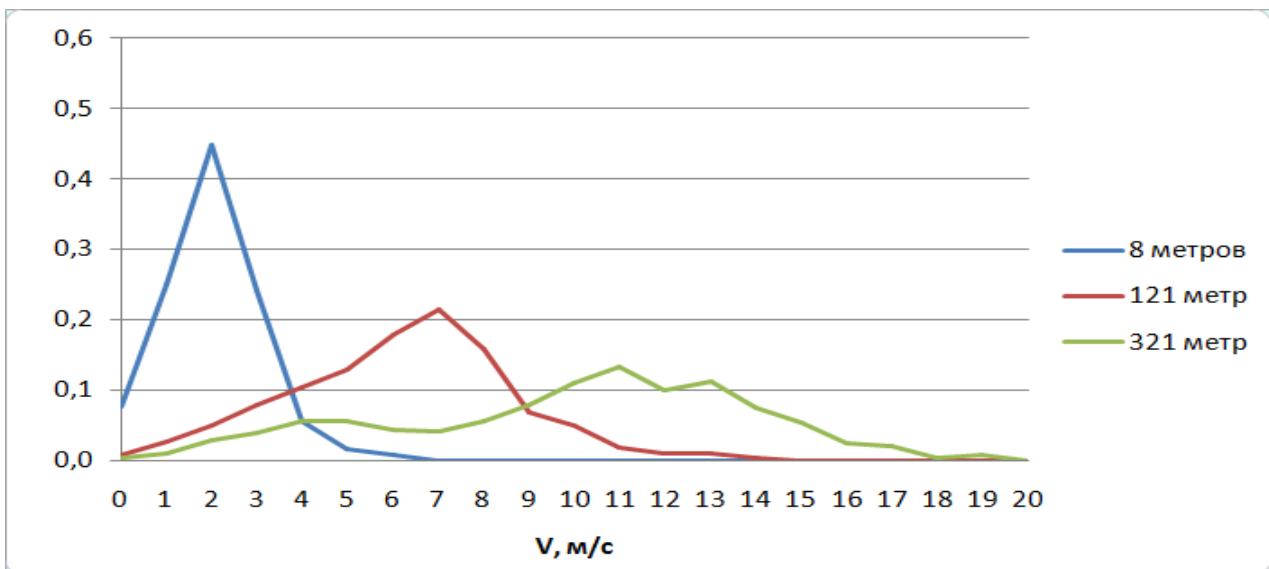


Рисунок 2. Характерное месячное распределение силы ветра для трех высот измерения (8, 121, 321 м). Зимний сезон, декабрь 2015.

На Рис.3. представлено среднегодовое распределение силы ветра за 2016 год.

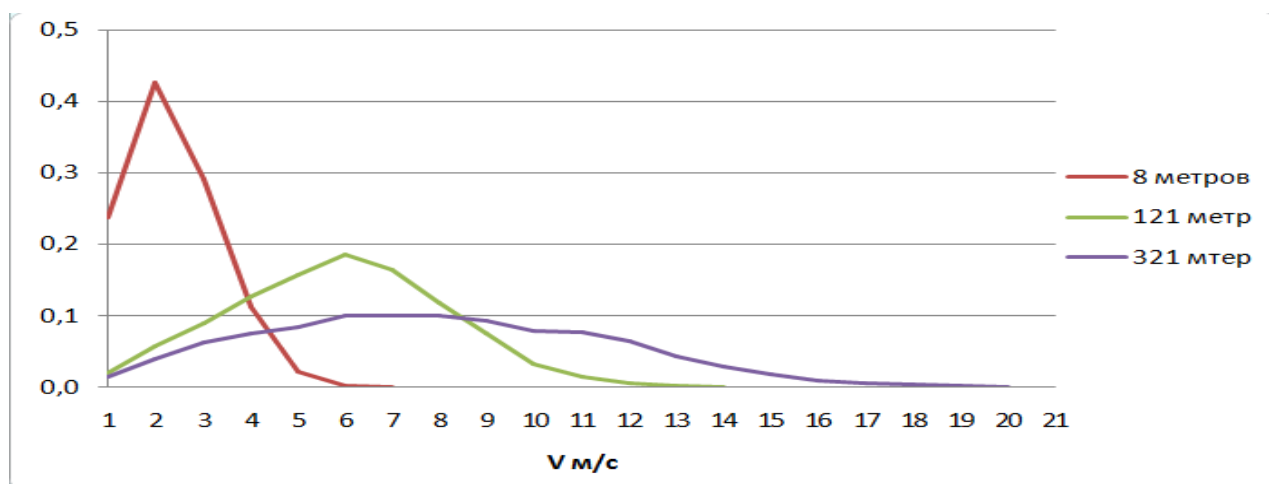


Рисунок 3. Среднегодовое распределение силы ветра для трех высот измерения за 2016 год.

На Рисунок 4. представлена вариабельность месячных распределений силы ветра за 2016 год (для трех высот измерений). По оси абсцисс указан порядковый номер сравниваемых помесечных данных (1 соответствует сравнению первого и второго календарного месяцев и т.д.). Ось ординат представлена относительной величиной, вычисляемой по (1).

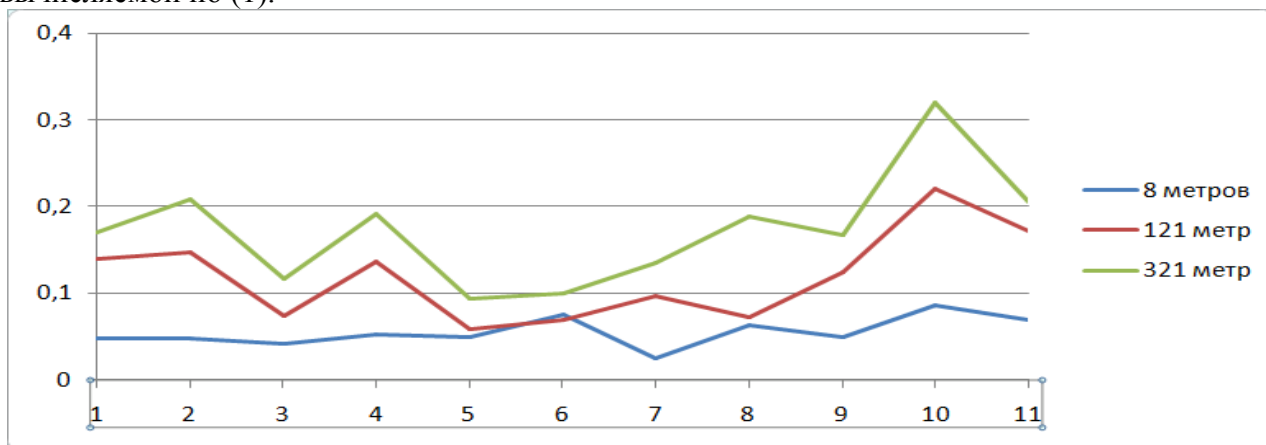


Рисунок 4. Вариабельность месячных распределений силы ветра за 2016 год (для трех высот измерений).

Аналогичный график вариабельности, но уже для среднегодовых распределений силы ветра (с 2010 по 2016 год) представлен на Рис 5. Здесь каждое деление оси абсцисс представляет собой порядковый номер сравниваемых годовых распределений. 1 соответствует сравнению данных за 2010 и 2011 гда, 2 – данных за 2011 и 2012 года и т.д.

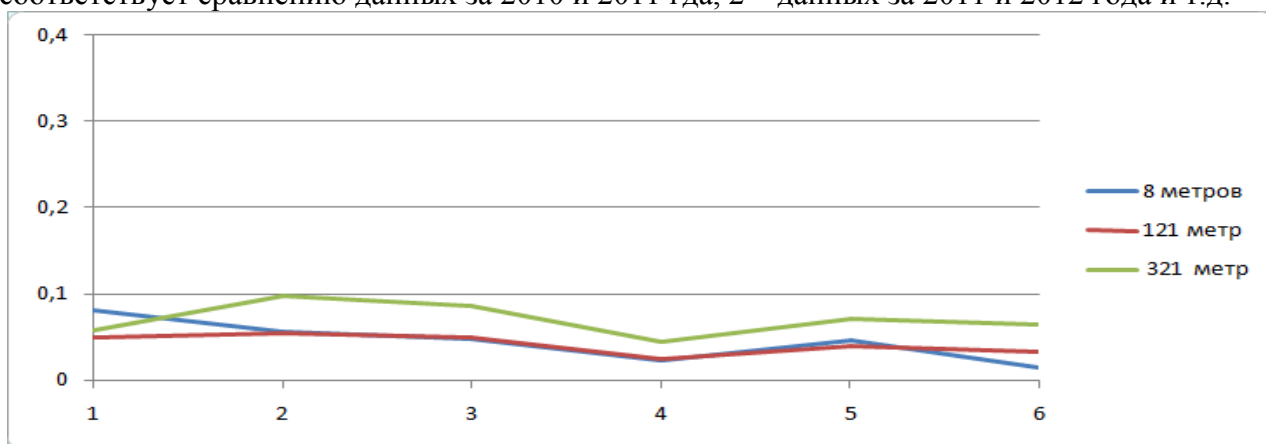


Рисунок 5. Вариабельность годовых распределений силы ветра 2010-2016 гг. (для трех высот измерений).

Анализируя графики вариабельности, можно отметить следующее:

1. Годовые вариабельности силы ветра существенно ниже (до 2 раз) месячных вариабельностей;
2. В течение года имеет место существенное сезонное изменение силы ветра (с усилением ветра в зимний период) и вариабельности силы ветра, достигающей относительного значения ~ 0.3 .
3. В течение периода 2010-2016 года имеется незначительная, но постоянная тенденция к уменьшению среднегодовой вариабельности силы ветра
4. Вариабельность годовых распределений ветра, измеренных на высоте 8 и 121 метр практически совпадают, в то время как эта же величина на высоте 321 м выше.
5. Вариабельность месячных распределений выше для более высотных измерений.
6. Вариабельности месячных и годовых распределений для силы ветра измеренной на высоте 8 метров близки и находятся в диапазоне 0.05- 0.1.

На рисунках 6-7 представлены графики автокорреляции силы ветра в зимний период (декабрь месяц) за два года. Для каждого года: 2015 и 2016 приведено по три графика для трех высот измерений (8 метров, 121 и 321 метр). Ось абсцисс представляет собой последовательные уровни временного ряда, между которыми исследуется корреляционная зависимость, с шагом в 1 час. Ось ординат – величина коэффициента корреляции, на каждом временном интервале.

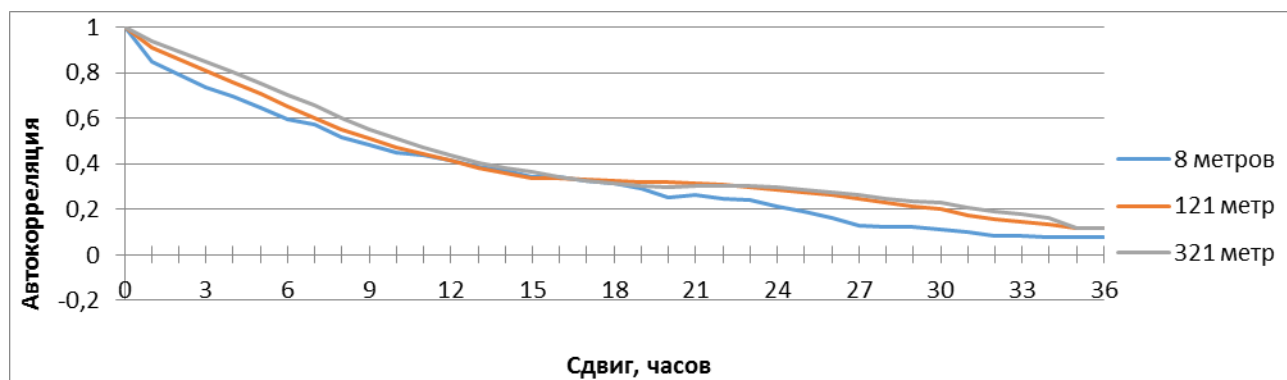


Рисунок 6. Автокорреляционная функция силы ветра за декабрь 2015 года.

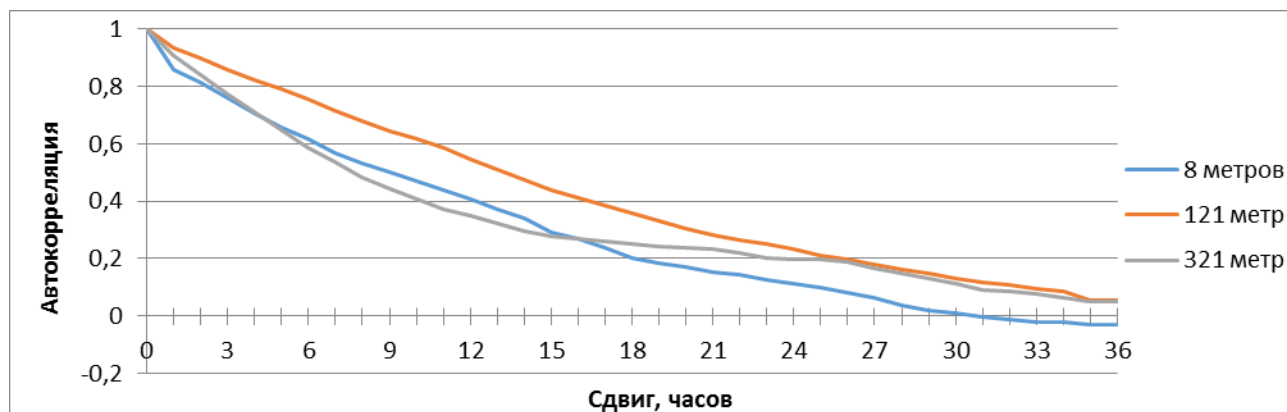


Рисунок 7. Автокорреляционная функция силы ветра за декабрь 2016 года.

На рисунках 9-10 представлены аналогичные графики, но уже за летний период (июль месяц).

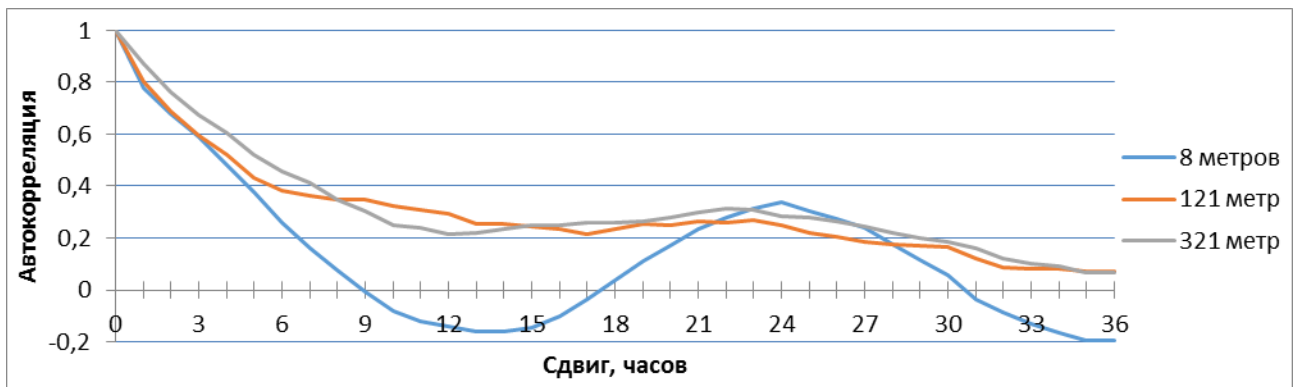


Рисунок 9. Автокорреляционная функция силы ветра за июль 2015 года.

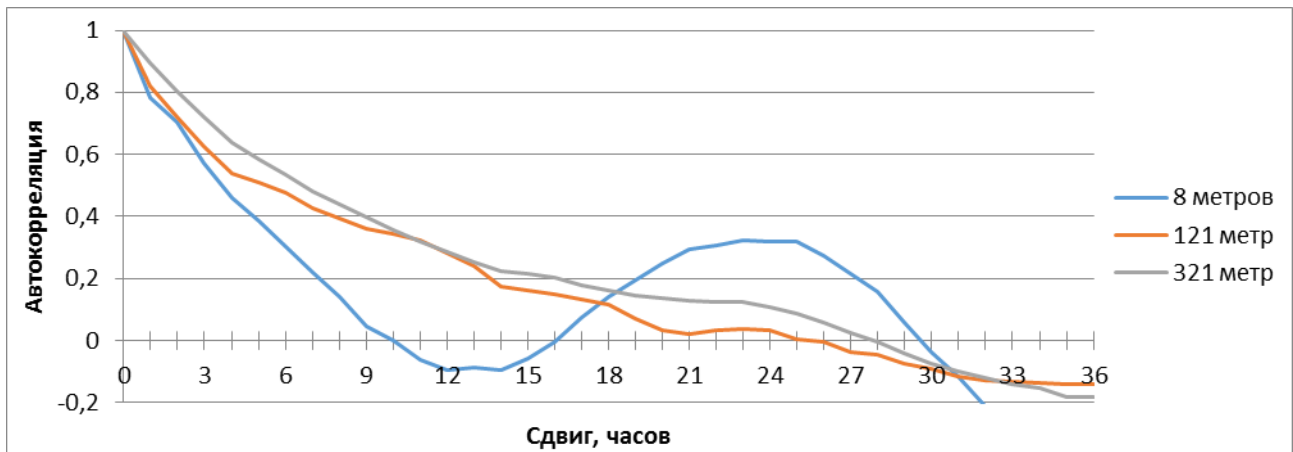


Рисунок 10. Автокорреляционная функция силы ветра за июль 2016 года.

Анализируя графики автокорреляции, можно отметить следующее:

1. Типичное характерное время автокорреляции скорости ветра в зимний период составляет около 9-11 часов.
2. В летний период этот показатель составляет около 4-6 часов.
3. В целом уровень автокорреляции наибольшей высоте – более высокий.
4. На малой высоте показатель автокорреляции более нестабилен, нежели на большей высоте, что связано с большими колебаниями скорости ветра на малых высотах
5. Графики автокорреляции аналогичных периодов за разные годы крайне схожи, что говорит о сезонном изменении скорости ветра.

Выводы

В работе проанализированы статистические характеристики графиков силы ветра по данным метеорологической станции г. Обнинск. Сделаны выводы об основных особенностях месячной и годовой вариабельности распределений силы ветра за последние 6 лет.

Данные исследования будут использованы для построения имитационных моделей силы ветра и ветроэлектрогенерации для оптимального конструирования энергетических систем, связанных с ветроэлектрогенерацией.

Литература

1. Yuanshi Zhang, Aina Tian, Yanlin Pan. Research on Wind Power Simulation Model. Industrial Engineering, Machine Design and Automation (IEMDA 2014) & Computer Science and Application (CCSA 2014). Proceedings of the Congress. World Scientific Publ. 2015. - P.14-130.
2. Philipoppoulos K., Deligiprgi D. Statistical simulation of wind speed in Athens, Greece based on Weibull and ARMA models. Int. J. of Energy and Environment.- 2009.-Issue4.- V.3.- P.151-158.

3. Design and performance optimisation of stand-alone and hybrid wind energy systems E. KONDILI, TEI of Piraeus, Greece коллективной монографии Каделлисса моделирование и экономическая оптимизация
4. Справочник по климату Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hmc.by/справочник-по-климату-Беларуси-Ветер>. – Дата доступа: 15.04.2017
5. Прогноз погоды. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rp5.by>. – Дата доступа: 15.04.2017
6. Высотная метеорологическая вышка карта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://typhoon-tower.obninsk.org/ru>. – Дата доступа: 15.04.2017