

ОСОБЕННОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

*Анна Леонидовна Боженко, ведущий специалист
кафедры техногенной безопасности,*

E-mail: voodoo_81@mail.ru,

Данило Дмитриевич Зюляев, аспирант,

E-mail: gordan1987@inbox.ru,

Владимир Ильич Кубов, к.ф.-м.н., доцент кафедры приборостроения,

E-mail: kvi@mksat.net,

Черноморский государственный университет, г. Николаев, Украина,

www.chdu.edu.ua,

Разия Махмудовна Кубова, канд. физ.-мат. наук, доц.,

E-mail: rkubova@muiv.ru,

Московский университет им. С.Ю.Витте,

http://www.muiv.ru

Приводятся результаты измерения скорости ветра в нескольких пространственно разнесенных точках в пределах городской черты на различных временных масштабах. Обсуждается возможность пространственной экстраполяции данных с одной точки на другую.

Ключевые слова: скорость ветра, временные и пространственные вариации, ветроэнергетика.

Введение

Среди составляющих климатических условий географического региона, оказывающих влияние на многие управляющие решения, важную роль играют характеристики ветра [1]. Ветер является главным переносчиком вредных выбросов продуктов загрязнения атмосферы. При оценках прочностных характеристик конструкций и сооружений также необходимо учитывать преимущественные направления и максимальных значений скорости ветра. Кроме того, ветер является одним из альтернативных возобновляемых источников энергии. Характеристики ветра определяются географическим положением и рельефом местности, близостью к границам крупных водоемов и высотой точки наблюдения над поверхностью земли.



А.Л. Боженко

Характеристики ветра в конкретной географической точке сложным образом зависят от сезона и времени суток. В изменениях ветра присутствует регулярная крупномасштабная составляющая и нерегулярная мелкомасштабная составляющая. Крупномасштабная составляющая определяется глобальными процессами в земной атмосфере. Эти процессы имеют максимальную интенсивность на высотах около 10 км, и определяют такие явления, как муссонные циркуляции, циклоны и антициклоны [1].

При долгосрочном планировании и оценках ожидаемой эффективности ветроэнергетической установки в конкретной географической точке необходимо иметь оценки статистических характеристик ветра, учитывающих их сезонные особенности. Такие оценки могут быть использованы при определении общей эффективности комплекса средств альтернативной энергетики, например, ветрогенераторов и фотоэлектрических батарей. Возможно, что при изменении сезонно-суточных геофизических условий установки энергосберегающей энергетики одной технологии мо-



Д.Д. Зюляев

гут компенсировать недостатки других. Для того, чтобы выявить существование подобных особенностей, необходимо иметь данные по взаимным статистическим характеристикам ветра и солнечной радиации.

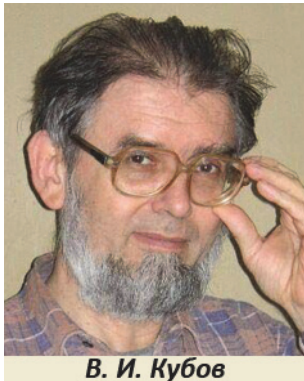
Значительная вариабельность параметров ветра обуславливает важность исследования этих параметров в каждой конкретной географической точке. Такие исследования были организованы на базе экспериментального комплекса контроля параметров окружающей среды в Черноморском государственном университете им. П. Могилы в г. Николаеве [2].

1 Материалы и результаты исследований

Начиная с июля 2013 г., в университете проводится измерение скорости ветра на крыше главного здания [2]. Измерения выполняются с помощью автоматизированной цифровой системы регистрации и самодельного анемометра чашечного типа. Анемометр установлен на мачте, на высоте около 3 метров над крышей 4-этажного главного здания университета. Это здание является самым высоким сооружением в ближайшей окрестности радиусом около километра. Калибровка анемометра осуществлялась в нескольких сеансах одновременных измерений с помощью эталонных измерителей скорости ветра. По результатам калибровки получена зависимость, связывающая показания анемометра и скорость ветра $V\{m/s\} = 4.7 \cdot 10^{-3} \cdot N_{12}\{ppm\}$.

В результате измерений была обнаружена высокая степень изменчивости параметров ветра. Оказалось, что соседние минутные значения показаний анемометра могут отличаться друг от друга в несколько раз. Можно сказать, что ветер не похож на непрерывный, равномерный поток, а состоит из череды отдельных порывов различной интенсивности.

При этом в изменениях скорости ветра прослеживается суточный ритм с минимумом в ночные часы и максимумом в послеполуденные часы. Типичный пример регистрации суточных изменений показаний анемометра для 03.08.2013 приведен на рисунке 1.



В. И. Кубов

Светлой линией с точками на графике обозначены минутные значения показаний анемометра, темной линией – результаты скользящего усреднения на интервале 10 минут. В околополуденное время ежеминутные значения N_{12} меняются от 300 ppm до 1200 ppm. Ранним утром, около 6 часов, ежеминутные значения N_{12} меняются от 100 ppm до 500 ppm. При усреднении на интервале 10 минут, как и следовало ожидать, разброс существенно уменьшается.



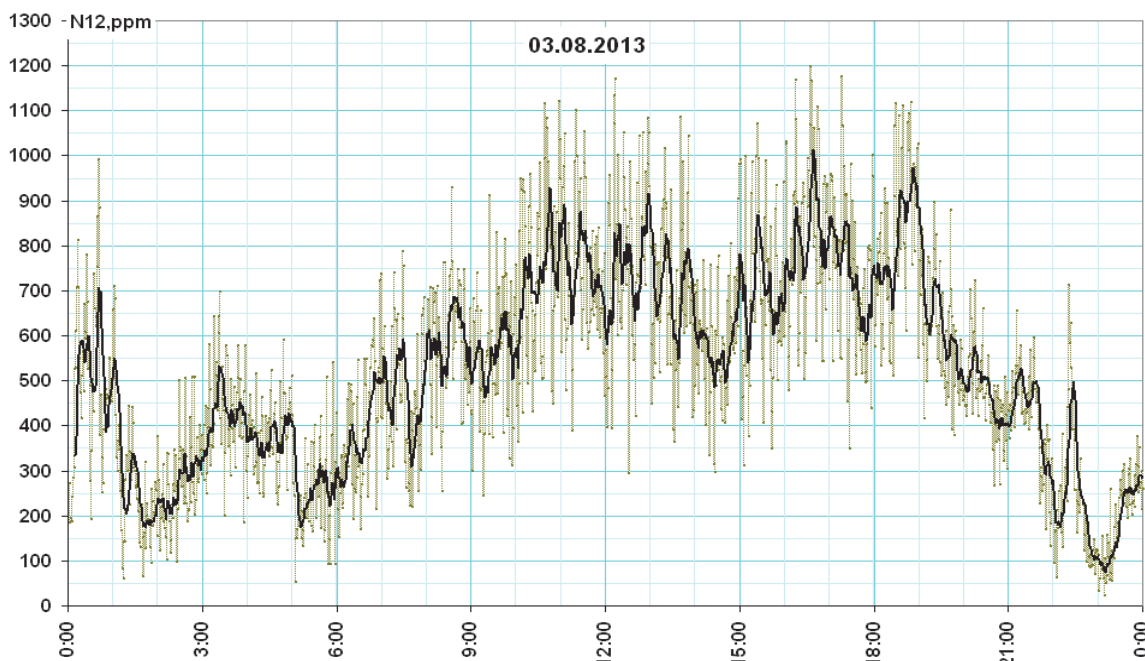
Р.М. Кубова

На рисунке 2 показан пример изменений ветра на месячном интервале.

Светлой линией с точками на графике обозначены минутные значения показаний анемометра, темной линией – результаты скользящего усреднения на часовом интервале. В месячном ходе изменения скорости ветра четко прослеживается суточный ритм. На этот ритм накладываются нерегулярные многодневные изменения.

2 Особенности распределения при разных интервалах усреднения

Приведенные графики вариаций скорости ветра указывают на необходимость усреднения данных по скорости ветра при сопоставлении на многомесячных интервалах времени. В противном случае естественные короткопериодические флюктуации, приводящие к отличию соседних минутных значений в несколько раз, будут маскировать какие-либо сезонные вариации.



**Рисунок 1 – Пример суточного хода показаний анемометра 03.08.2014.
Ежeminутные значения и скользящее среднее на 10 минутном интервале**

При этом возникает естественный вопрос – как усреднять скорость ветра, чтобы в результате усреднения не была потеряна информативность по энергии ветра?

Энергия ветра определяется известными соотношениями $\Delta E = \frac{\Delta m \cdot V^2}{2}$, где $\Delta m = \rho \cdot S \cdot \Delta L$ – масса воздуха, проходящего через установку; S-поперечная площадь потока; $\Delta L = V \cdot \Delta t$ – длина объема, проходящего через установку в единицу времени.

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2}$$

Соответственно, для мощности ветра получается выражение

Таким образом, максимальная мощность ветряной установки пропорциональна третьей степени скорости ветра – $P \sim V^3$.

Естественно, мощности реальных ветроэнергетических установок связаны со скоростью ветра более сложным образом. Это относится как к очень маленьким скоростям – когда мощность недостаточна для преодоления сил трения, так и к очень большим скоростям – при этом ветрогенератор переводится в режим флюгерирования, чтобы не повредить элементы своей конструкции.

Тем не менее, можно ожидать определенной разницы в результатах усреднения скорости ветра, в зависимости от того, что именно усредняется – первая или третья степень скорости ветра.

Для первой степени – $\bar{V}_1 = \int V \cdot P(V) \cdot dP$ – средняя арифметическая скорость. Здесь $P(V)$ – вероятность реализации конкретного значения скорости V.

Для второй степени – $\bar{V}_2 = \sqrt[2]{\int V^2 \cdot P(V) \cdot dP}$ – среднее квадратическое значение скорости.

Для третьей степени – $\bar{V}_3 = \sqrt[3]{\int V^3 \cdot P(V) \cdot dP}$ – среднее кубическое значение скорости.

Для статистических оценок вместо интегралов используются суммы

$$\bar{V}_n = \sqrt[n]{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N V_i^n}$$

Поэтому целесообразно приводить оценки не только средней арифметической, но и средней квадратической и средней кубической скоростей ветра.

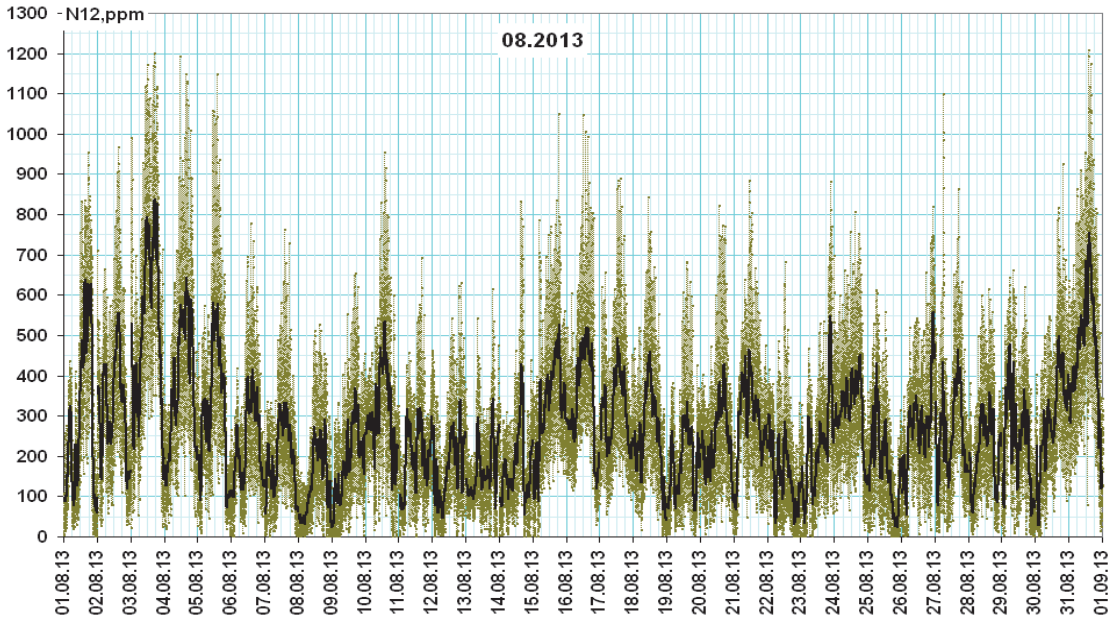


Рисунок 2 – Пример изменений показаний анемометра в августе 2013. Ежеминутные значения и скользящее среднее на часовом интервале

На рисунке 3 приведены примеры оценки месячных изменений средних арифметических, среднеквадратических, средних кубических и максимальных значений при усреднении за сутки.

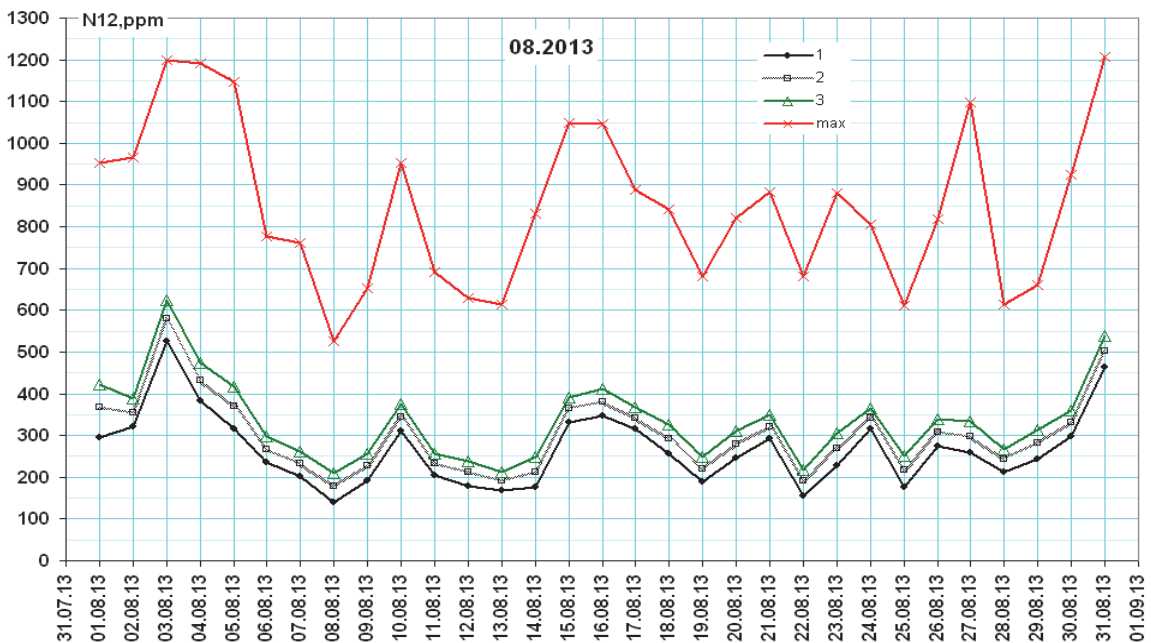


Рисунок 3 – Пример месячных вариаций ежесуточных показаний анемометра при различных способах усреднения

Средние арифметические значения, как это и должно быть, имеют самое низкое значение, средние квадратические – несколько большее, средние кубические – еще большее, и самое большое – максимальное в сутках значение. Показательно, что локальные максимумы и минимумы по дням месяца для всех способов усреднения совпа-

дают. Это косвенно свидетельствует о едином статистическом законе распределения вероятностей значений скорости ветра в течение всего месяца. Средние арифметические, средние квадратические и средние кубические значения значительно ближе между собой, нежели максимальные значения.

На рисунке 4 представлены регрессионные зависимости между значениями показаний анемометра N12 для различных способов усреднения.

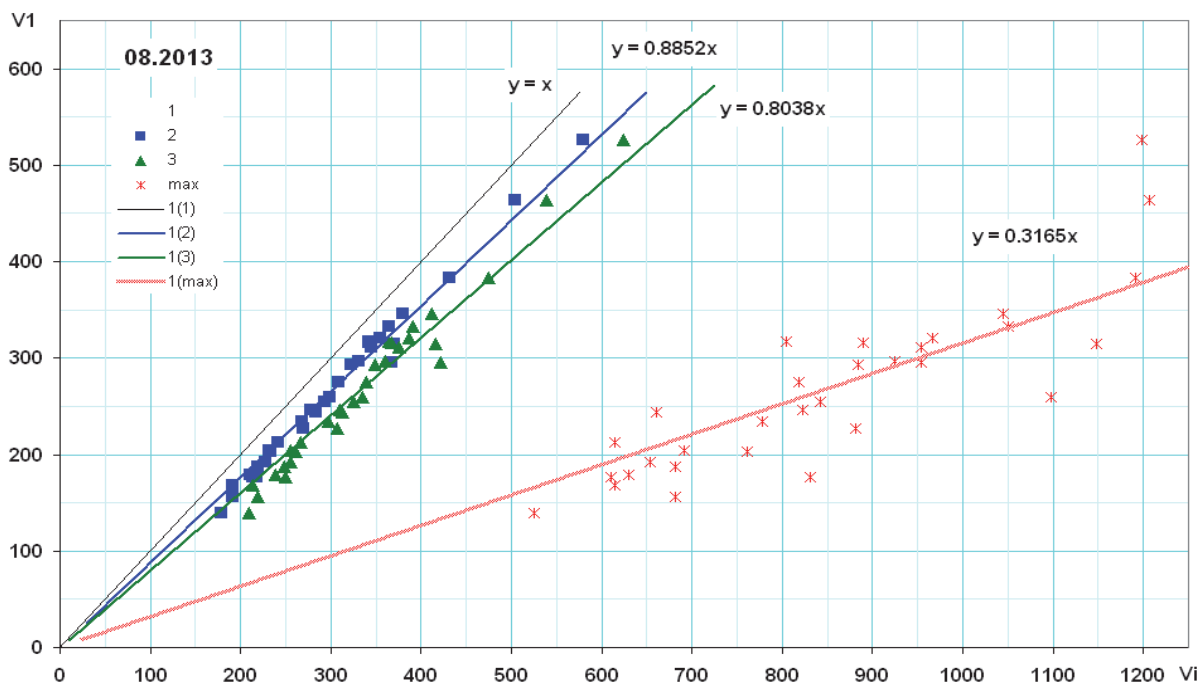


Рисунок 4 – Регрессионные связи между среднесуточными показаниями анемометра при различных способах усреднения

По вертикальной оси приведено среднее арифметическое значение – $V1$. По горизонтальной – среднее арифметическое – линия регрессии 1(1) без точек, среднее квадратическое – линия регрессии 1(2) с экспериментальными значениями в виде квадратов, среднее кубическое – линия регрессии 1(3) с экспериментальными значениями в виде треугольников, и максимальное – линия регрессии 1(max) с экспериментальными значениями в виде крестиков, значения. Анализ графиков показывает, что среднее арифметическое, среднее квадратическое, среднее кубическое и максимальное значения линейно связаны между собой. Тогда, имея только средние значения $\overline{N12_1}$ можно восстановить остальные значения. В частности:

$$\overline{N12_2} \approx \overline{N12_1} \cdot 1.13 \quad \text{– среднее квадратическое;}$$

$$\overline{N12_3} \approx \overline{N12_1} \cdot 1.24 \quad \text{– среднее кубическое;}$$

$$\max(N12) \approx \overline{N12_1} \cdot 3.2 \quad \text{– максимальное за сутки среднее минутное значение.}$$

Эти соотношения позволяют значительно упростить процедуру обработки статистических данных.

3 Сезонные особенности вариаций скорости ветра

Измерения параметров ветра проводятся с конца июля 2013 и продолжаются в настоящее время.

На рисунке 5 приведены зависимости среднесуточных значений показаний анемометра на многомесячном интервале времени. Анализируя изменения показаний скорости ветра на более, чем годовом интервале, можно заключить, что в зимних условиях

характерны более высокие значения скорости, чем в летние. Тем не менее, достаточно сильный ветер наблюдается во все сезоны года.

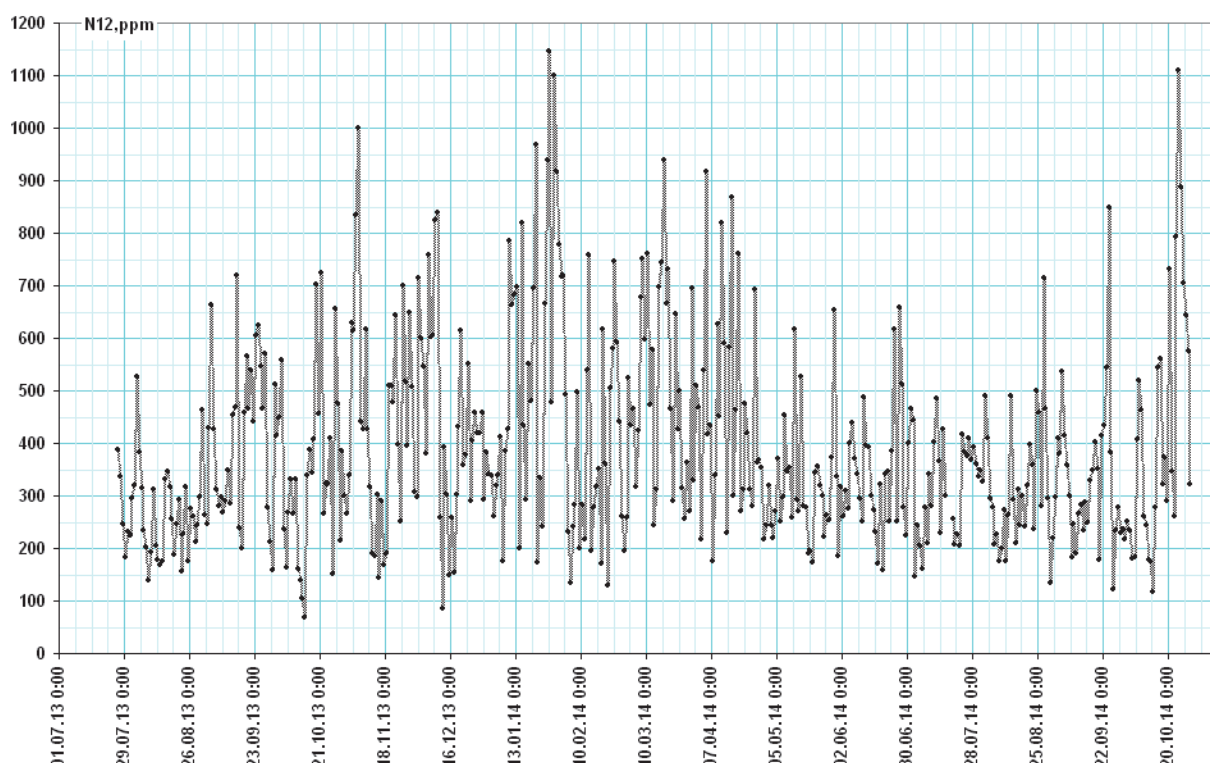


Рисунок 5 – Зависимость среднесуточных значений показаний анемометра на многомесячном интервале (июль 2013 г. – ноябрь 2014 г.)

Для оценки достоверности показаний анемометра привлекались доступные данные метеослужб Николаева по скорости ветра.

Изменения скорости ветра по метеоданным также обнаруживают суточный ритм с минимумом в ночные часы и максимумом в послеполуденные часы. При качественном подобии суточного и сезонного хода скорости ветра по данным городской метеостанции [3], расположенной в районе Николаевского аэропорта, и данным анемометра на крыше университета наблюдаются значительные расхождения в значениях скорости ветра. Скорость ветра на крыше университета оказалась значительно меньше. Сопоставление полученных данных показывает выраженный сезонный характер расхождений в значениях скорости ветра. В то время как в зимних условиях показания анемометра достаточно близки к данным метеостанции, в летний период расхождение увеличивается – для отдельных дней значения различаются более чем в 2 раза. Особенно заметные отличия наблюдались в августе 2013 и июле 2014. На рисунке 6 показаны усредненные на 7-дневном интервале значения скорости ветра, полученные по данным метеостанции, и измеренные с помощью анемометра.

Для дополнительного анализа особенностей распределения характеристик ветра построены распределения количества случаев данного направления ветра за месяц. Полученные распределения, так называемая «роза ветров» приведены на рисунке 7.

Анализ диаграмм распределения разы ветров показывают, что не только скорость, но и преимущественные направления ветра зимой и летом существенно отличаются. Свой вклад в различие данных между измерениями на метеостанции и полученных с помощью анемометра может вносить тот факт, что в северо-восточном направлении от места расположения анемометра находится группа высоких деревьев, крона которых летом может затенять анемометр от ветра с этих направлений, характерных как раз для летних условий.

Для более детальной оценки картины распределения поля скорости ветра, кроме данных Николаевской метеостанции [3], привлекались и данные Николаевской астрономической обсерватории – НАО [4]. Метеостанция и обсерватории находятся практически на одной территории (на удалении около сотни метров), но анемометр обсерватории расположен на более низкой высоте. Метеостанция находится на удалении около 12 километров в западном направлении относительно университета.

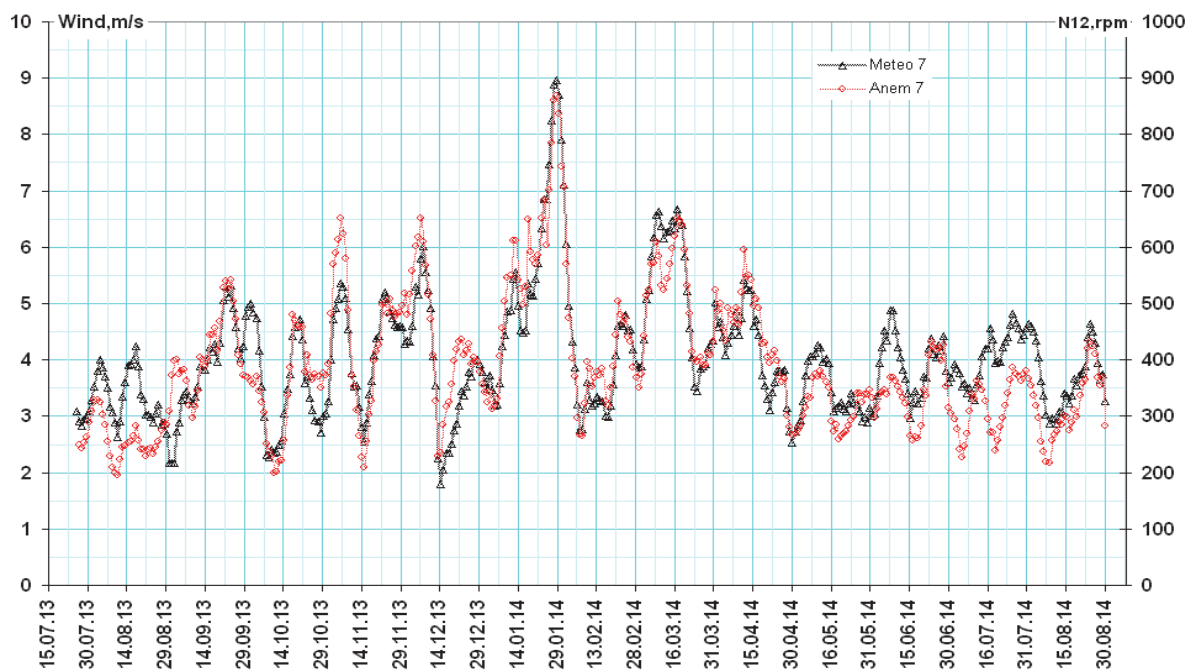


Рисунок 6 – Скорость ветра по метеостанции и показания анемометра университета (усреднение по 7 дням)

На рисунке 8 приведены регрессионные зависимости среднесуточной скорости ветра на интервале июль 2013–август 2014 для различных комбинаций пар точек измерения.

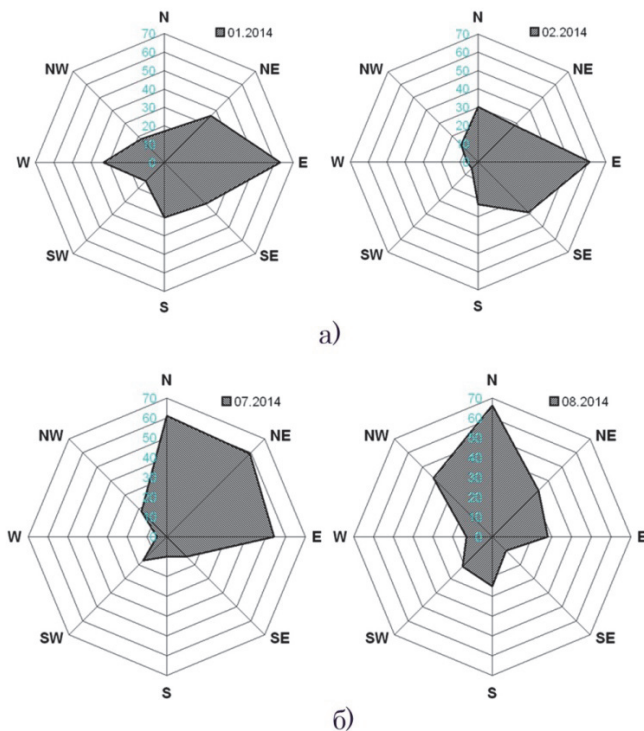
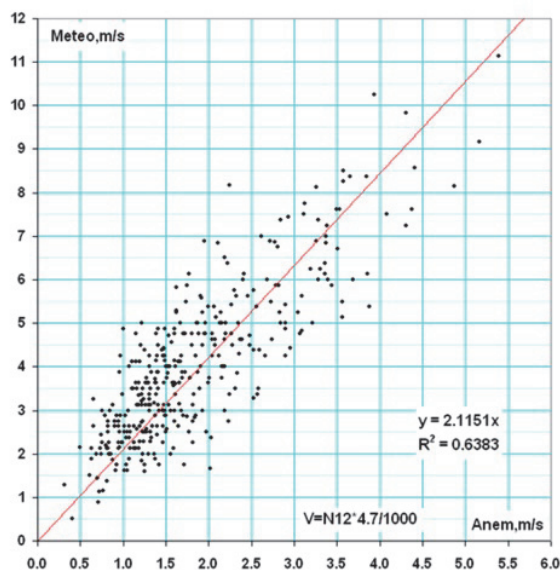


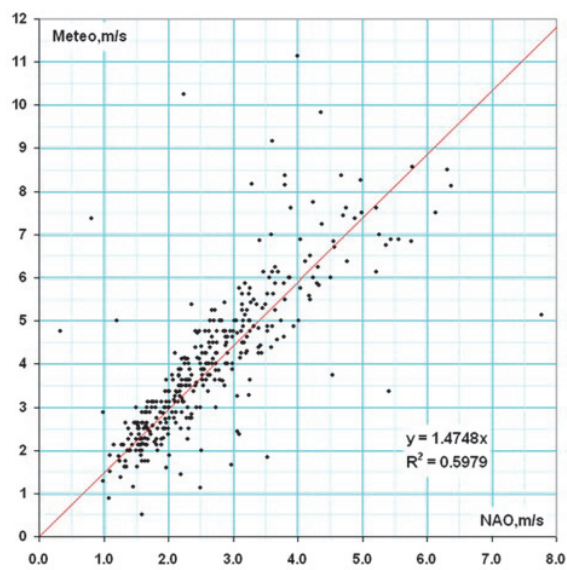
Рисунок 7 – Распределение розы ветров для зимних и летних месяцев

Из графиков видно, что в каждой из точек имеется подобие в относительных вариациях скорости ветра (точки группируются около некой прямой), при значительных отличиях в абсолютных значениях скорости ветра (разница в масштабах по осям). Анализ регрессионных зависимостей позволяет выделить следующие особенности. Плотнее всего группируются точки для более близких расстояний – пара метеостанция и обсерватория, причем скорость ветра по данным Николаевской обсерватории примерно в 1.5 раза меньше, чем на метеостанции, при этом отдельные точки далеко отходят от линии регрессии (коэффициент детерминации $R^2=0.60$). Более однородно ложатся точки в паре метеостанция и университет, но скорость ветра на

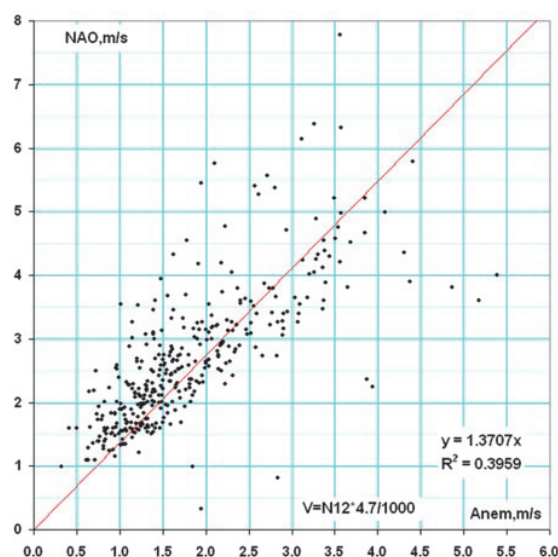
крыше университета в среднем в 2.1 раза меньше ($R^2=0.64$). Хуже всего связь в паре обсерватория и университет ($R^2=0.40$), при этом в обсерватории скорость ветра в 1.4 раза больше, чем на крыше университета.



а) Метеостанция – университет



б) Метеостанция – Николаевская астрономическая обсерватория



в) Николаевская астрономическая обсерватория - университет

Рисунок 8 – Регрессионные зависимости среднесуточной скорости ветра для различных пар точек измерений

На рисунке 9 приведена схема с метками, обозначающими расположение точек проведения измерений на карте города. На схеме обозначено 1 – Николаевский гражданский аэропорт, место расположения метеостанции, 2 – Николаевская астрономическая обсерватория, 3 – здание Черноморского университета, на крыше которого установлен анемометр.

Особенности различий характеристик ветра, полученные в результате сопоставления данных в различных точках города, возникают в результате влияния совокупности различных причин, среди которых наиболее очевидными представляются факторы,

связанные с особенностями рельефа, характера застройки и наличия крупных массивов растительности, способных затенять измерительные средства.



Рисунок 9 – Схема взаимного расположения точек измерения скорости ветра

Заключение

Авторы полагают, что в данной работе новыми являются следующие положения и результаты:

1 С целью оценки возможности использования ветрогенераторов в качестве альтернативных источников энергии проведены измерения скорости ветра с помощью сконструированного самодельного анемометра в черте города Николаева, расположенного вблизи Черноморского побережья Украины.

2 В связи со сложным характером поведения и высокой вариабельностью скорости ветра рассмотрены варианты представления распределения средних значений скорости ветра на различных интервалах усреднения.

3 Выявлена сезонная зависимость скорости и преимущественных направлений ветра. Причем полученная сезонная вариация не совпадает с сезонной вариацией потока солнечного излучения. Так, зимой, когда инсоляция резко уменьшается, эффективность применения солнечных фотоэлектрических установок низка, основной вклад может быть от ветрогенераторов, а летом, когда ветер слабее, основным может быть вклад от солнечных батарей.

4 Проведено сопоставление полученных результатов измерений с измерениями, проведенными городской метеостанцией и обсерваторией. Показано, что при значительных отличиях усредненных значений скорости, между различными наблюдениями существует регрессионная зависимость. Это позволяет экстраполировать результаты измерений из одной точки измерений в другую с помощью некоего масштабного коэффициента, учитывающего локальные особенности рельефа, растительности и застройки.

Литература

1. Атмосфера: справочник (справочные данные, модели). Л.: Гидрометеиздат, 1991. 510 с.

2. *Боженко А.Л., Зюляев Д.Д., Козуб С.В., Кубов В.И.* Опыт регистрации параметров ветра в цифровой системе измерения параметров внешней среды // Наукові праці. т. 233, вип. 221. Техногенна безпека. Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили, 2014. С. 21–32.
3. Методанные Николаева. URL: <http://www.pogoda.ru.net/weather.php?id=33846>
4. Методанные НАО. URL: http://www.nao.nikolaev.ua/index.php?catalog_id=356

The particularity of estimating the field of wind speed in the town conditions

Anna Leonidovna Bozhenko, Leading Specialist of the Department of Technological Safety Danilo Dmitriyevich Ziulyaiev, Graduate, Black Sea State University after P. Mogila (Nikolaev)

Vladimir Ilyich Kubov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Black Sea State University after P. Mogila (Nikolaev)

*Raziya Makhmudovna Kubova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Moscow Vitte University*

In the article it is described some results of wind speed measurements at spaced points in the town for different time scales. The possibility of data space extrapolation is discussed.

Key words: wind speed, time and space variations, wind energy.

УДК 004.8

**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**

*Роман Иванович Лесниченко, канд. техн. наук,
доцент кафедры математики и информатики,
E-mail: rlesnichenko@muiv.ru,*

*Сергей Алексеевич Галаев, канд. техн. наук,
доц. кафедры математики и информатики,
E-mail: sgalaev@muiv.ru,
Московский университет им. С.Ю.Витте,
<http://www.muiv.ru>*

В статье рассматривается возможность и обосновывается эффективность применения генетических алгоритмов для решения задачи оптимизации структуры системы передачи данных заданной топологии, пример и результаты расчета с использованием среды Matlab.

Ключевые слова: генетический алгоритм, система передачи данных, вычислительная сеть, оптимальное подключение Matlab, хромосома, ранжирование, естественный отбор.



Р.И. Лесниченко

Генетические алгоритмы, являясь одной из парадигм эволюционных вычислений, представляют собой алгоритмы поиска, построенные на принципах, сходных с принципами естественного отбора и генетики.

Так как генетические алгоритмы представляют собой разновидность методов поиска с элементами случайности, то они позволяют найти рациональное, а не оптимальное решение задачи. Следовательно, их применение наиболее целесообразно для решения сложных задач большой размерности, для которых необходимо найти приемлемое решение в условиях временных ограничений. При этом применение других методов (например, метода полного перебора), ориентированные на поиск оптимального решения, вследствие высокой сложности задачи затруднительно.