

ОПЫТ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА В ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Наведено результати аналізу експериментальних даних із сезонних і добових варіацій швидкості вітру, що отримані в експериментальній цифровій системі реєстрації параметрів зовнішнього середовища. Розглянуто флюктуаційні характеристики вітру на різних часових і просторових масштабах.

Ключові слова: швидкість вітру, флюктуації, сезонні і добові варіації, цифрова реєстрація.

Приводятся результаты анализа экспериментальных данных по сезонным и суточным вариациям скорости ветра, полученным в экспериментальной цифровой системе регистрации параметров внешней среды. Рассматриваются флюктуационные характеристики ветра на различных временных и пространственных масштабах.

Ключевые слова: скорость ветра, флюктуации, сезонные и суточные вариации, цифровая регистрация.

The results of the analysis of experimental data on seasonal and daily variations of wind speed, obtained in the experimental digital recording system, are presented in the article. We consider the fluctuation characteristics of wind at different temporal and spatial scales.

Key words: wind speed fluctuations, seasonal and diurnal variations, digital recording.

1. Ветер, как один из источников альтернативной энергии

Как известно, ветер является одной из важных составляющих, определяющих климатические условия конкретного географического региона [1, с. 64-74]. Ветер является главным переносчиком продуктов загрязнения атмосферы [10]. 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.

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 сезонные их особенности. Такие

оценки могут быть полезны при оценках общей эффективности комплекса средств альтернативной энергетики, например, ветрогенераторов и фотоэлектрических батарей. Так, зимой, когда эффективность фотоэлектрических батарей низка, основной вклад может быть от ветрогенераторов, а летом, когда ветер слабее, основным может быть вклад от фотобатарей. Но для того, чтобы подобные оценки были сколько-нибудь достоверны, 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 университете.

2. Экспериментальный комплекс контроля параметров окружающей среды

С 2011 года в Черноморском государственном университете (г. Николаев, Украина) находится в опытной эксплуатации комплекс средств контроля параметров окружающей среды [2-4]. Этот комплекс состоит из ряда микропроцессорных серверов, оснащенных внешними датчиками, и объединенных в компьютерную Ethernet-сеть университета. Первоначально эта сеть включала в себя только датчики температуры, установленные внутри помещений, на трубах системы отопления и вне сооружений, для

контроля температуры внешней среды. Позже этот комплекс был расширен средствами контроля тока фотоэлектрических батарей, установленных на крыше университета [5].

Летом 2013 года на мачте стенда с солнечными батареями был установлен самодельный анемометр чашечного типа (рис. 1). Эта установка дала двойной эффект:

- вращающиеся элементы отпугивают птиц, и поверхность батарей стала меньше загрязняться;
- появилась возможность измерять вариации скорости ветра.

Конструктивные особенности анемометра

Анемометр чашечного типа позволяет измерять только скорость ветра без учета его направления.

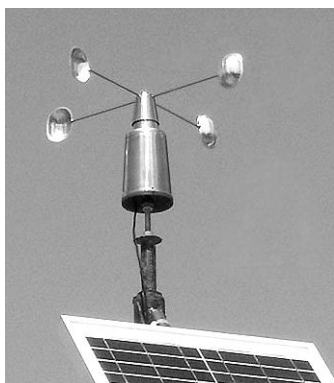


Рис. 1. Схема размещения анемометра и устройства датчика вращения

Количество импульсов, формируемых датчиком на периоде счета T , пропорционально скорости вращения n ротора анемометра $N_{12}(T) = n \cdot 12 \cdot T$.

Электроника анемометра подключена к микропроцессору трехпроводным кабелем, по которому на датчик поступает питание – 5V, и от датчика к процессору идут импульсы счета.

Эти импульсы, после фильтрации от ВЧ-помех, считает микропроцессор. Интервал счета формируется схемой программных прерываний процессора и равен 1 минуте. С таким же темпом процессор выдает данные счета на регистрацию. Далее на графиках показания анемометра приводятся в единицах rpm – pulse per minute, импульсы в минуту.

Соотношения между скоростью ветра и показаниями анемометра

Известно [6, с. 158-165], что скорость вращения ротора анемометра чашечного типа в широком диапазоне скоростей пропорциональна скорости ветра – $n = K \cdot V$, где V – скорость ветра и K – коэффициент пропорциональности, определяемый радиусом ротора – R , и коэффициентами аэродинамического сопротивления чашечек – C_i , для противоположных направлений воздушного потока [6]. Так называемый коэффициент ротоанемометра – σ , определяется формулой:

$$\sigma = \frac{V}{U} = \frac{V}{2\pi \cdot R \cdot n} = \frac{C_1 + C_3}{C_1 - C_3} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{C_1 - C_3}{C_1 + C_3} \right)^2} \right], \quad (1)$$

где V – скорость воздушного потока;
 U – линейная скорость чашечек;

Корпус и чашки анемометра изготовлены из нержавеющей стали. Чашки (4 штуки) полусферической формы, диаметром около 3 см, установлены на расстоянии около 11 см от вращающегося вала вертикальной оси. На валу анемометра внутри закрытого от света корпуса установлен диск с 12 отверстиями. Здесь же установлена оптронная фотоэлектрическая пара – светодиод D1 и фототранзистор U1 (рис. 1). Свет в оптронной паре, проходя через отверстия в диске, формирует импульсы. Для увеличения рабочего зазора между светодиодом и фотоприемником в схему формирователя датчика импульсов был встроены усилитель на транзисторе Q1.

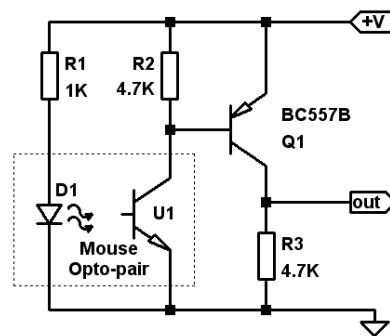


Схема оптронного датчика импульсов вращения с усилителем

R – радиус ротора анемометра;
 n – скорость вращения ротора;

C_1, C_3 – аэродинамические сопротивления чашечек анемометра для прямого и обратного направления воздушного потока.

В частности, если аэродинамические сопротивления в противоположных направлениях многократно отличаются – $C_1 \gg C_3$, то $\sigma \rightarrow 1$, т. е. линейная скорость чашечек совпадает со скоростью ветра. В случае, когда сопротивления близки – $C_1 = C_3$, то $\sigma \rightarrow \infty$, т. е. линейная скорость чашечек равна нулю и анемометр не вращается.

Подставляя в формулу (1) конкретные значения для анемометра с радиусом ротора $R = 11$ см и 12 импульсами на один оборот, для минутного интервала счета, получим следующее приближенное выражение:

$$V \{m/s\} = 2\pi \cdot \sigma \cdot 0.11 \cdot \frac{N_{12} \{ppm\}}{12 \cdot 60} \approx \sigma \cdot 10^{-3} \cdot N_{12} \{ppm\}, \quad (2)$$

где N_{12} – количество импульсов анемометра за одну минуту.

В частном случае $\sigma = 1$ – линейная скорость равна скорости ветра, показаниям анемометра $N_{12} = 1000$ ppm соответствует скорость ветра $V = 1$ м/с.

Для чашечек полусферической формы соотношение аэродинамических сопротивлений в прямом и обратном направлении потока – $C_1 / C_3 = 4$.

Соответственно $\sigma \approx 3$, т. е. линейная скорость вращения чашек анемометра примерно в 3 раза меньше скорости ветра, и значению $N_{12} = 1000$ ppm соответствует скорость ветра $V = 3$ м/с.

Для меньших значений соотношений аэродинамических сопротивлений получим другие значения. Так, для $C_1/C_3 = 1.5$ получим $\sigma \approx 10$, и значению $N_{12}=1000\text{ppm}$ соответствует скорость ветра $V = 10 \text{ m/s}$.

Реальные значения коэффициента ротоанемметра можно определить в процессе калибровки, сопоставляя показания поверяемого анемметра с показаниями эталона.

3. Описание процедуры и результатов калибровки анемметра

Как показал опыт, процедура калибровки анемметра в условиях реального ветра является достаточно нетривиальной задачей. Прежде всего, это обусловлено сильной изменчивостью скорости ветра на малых временных интервалах. Для проведения сравнительных измерений использовался термоанемметр Flus ET-935 Anemometer [7]. Этот анемметр прошёл государственную поверку 3.12.13 на кафедре качества, стандартизации и техногенно-экологической безопасности ЧГУ им. Петра Могилы.

В качестве примера, на рис. 2-4 показаны результаты сопоставления показаний поверяемого

анемметра – N12, и скорости ветра –V, измеренной эталонным анемметром типа Flus ET-935 Anemometer [7].

Эталонный анемметр измеряет скорость ветра с темпом примерно одно измерение в секунду. Для облегчения процедуры съема данных осуществлялась видеорегистрация показаний индикатора этого анемметра с последующей покадровой обработкой записей на персональном компьютере.

Калибровка анемметра выполнялась 24.04.2014, в условиях, достаточно типичных для этого времени года. Эталонный анемметр располагался на крыше, на площадке, свободной от затеняющих ветер элементов конструкций, на высоте около 2 метров от поверхности крыши (на высоте поднятой руки). Измерительная головка анемметра ориентировалась по направлению ветра. Поверяемый анемметр располагается на мачте, установленной на оголовке вентиляционной шахты, на высоте около 3 метров от поверхности крыши. Расстояние между сверяемыми анемметрами около 15 метров.

Запись осуществлялась двумя сеансами длительностью около 5 минут. Промежуток между сеансами составлял около получаса.

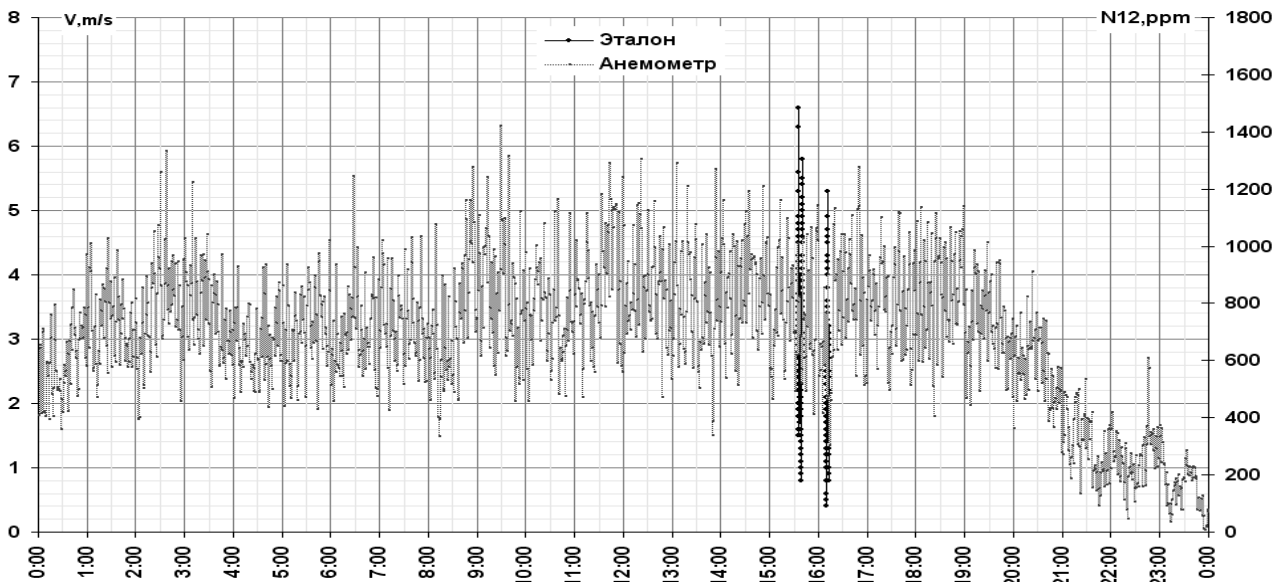


Рис. 2. Суточные изменения показаний анемметра и скорость ветра в сеансах проведения калибровки 24.04.2014

На рис. 2 показана общая картина суточных изменений показаний N12 поверяемого анемметра, регистрируемых с темпом один раз в минуту – шкала справа. Здесь же точками обозначены значения скорости ветра по эталонному анемметру – шкала слева. Сеансы калибровки проводились около 16 часов.

На рис. 3 показан фрагмент записи на интервал времени около сеансов калибровки.

Во время проведения сеансов калибровки скорость ветра менялась от 0.4 m/s до 6.6 m/s – более чем в 15 раз. При этом показания поверяемого анемметра изменялись от 300 ppm до 1000 ppm – более чем в 3 раза.

На рис. 4, 5 показаны детальные картины изменений показаний поверяемого анемметра и скорости ветра по эталонному анемметру.

Напомним, что эталонный анемметр дает значения с темпом одно измерение в секунду, а поверяемый анемметр – одно измерение в минуту, которое соответствует среднему значению на минутном интервале. Поэтому сопоставлять следовало бы значения, приведенные к общему значению интервала усреднения. Но, как оказалось при последующей обработке, недостаточная длительность сеанса измерения, при значительном уровне флюктуаций скорости ветра, и слишком большое влияние концов интервала усреднения, не позволяют выполнить такое усреднение. Поэтому вынужденно сопоставлялись не усредненные показания двух анемметров.

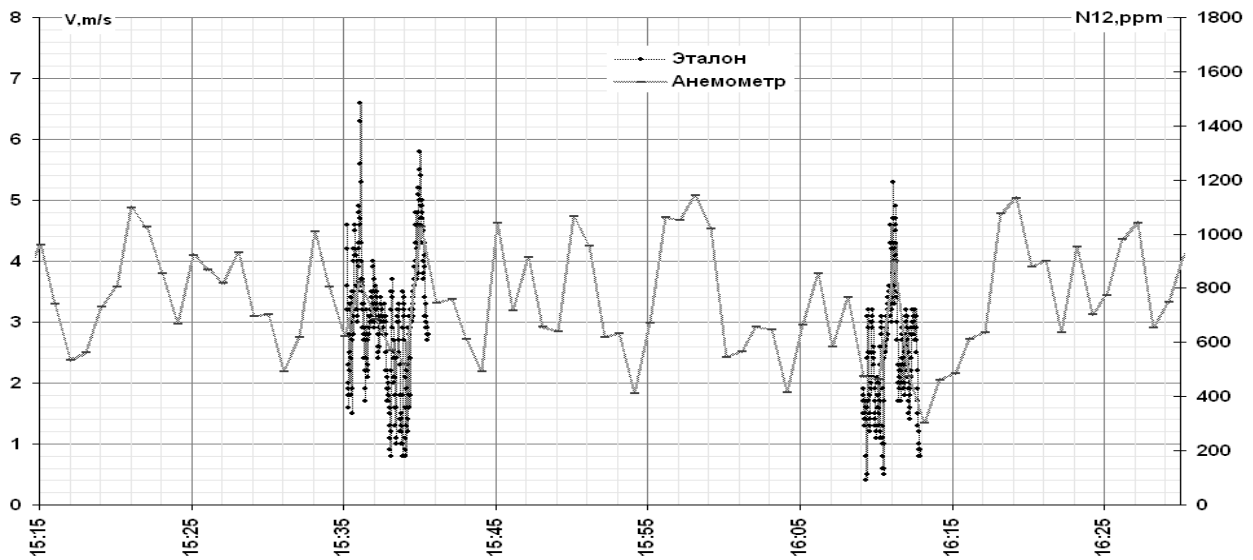


Рис. 3. Изменения скорости ветра и показаний анемометра на интервале калибровки

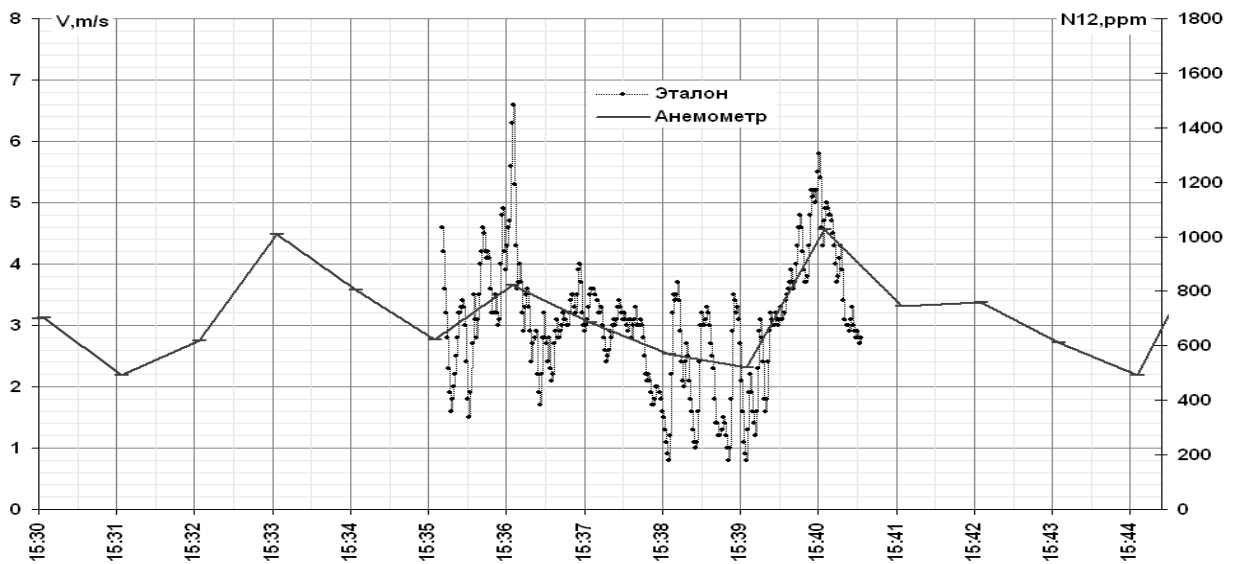


Рис. 4. Изменения скорости ветра и показаний анемометра в первом сеансе калибровки

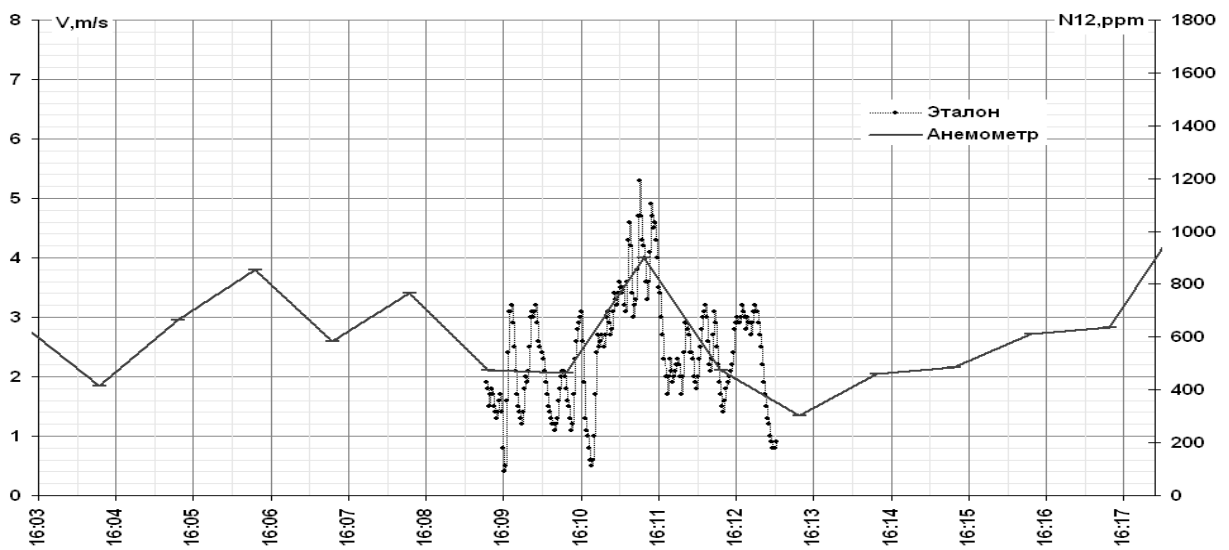


Рис. 5. Изменения скорости ветра и показаний анемометра во втором сеансе калибровки

Для сопоставления показаний анемометров выполнялось совмещение результатов измерений – по вертикальной оси – подбором масштаба, и по горизонтальной оси – оси времени, небольшим сдвигом по времени. Сдвиг по времени осуществлялся для устранения расхождения часов компьютера регистрирующей системы и часов видеорегистратора. Время видеорегистратора определялось по времени создания файла в регистраторе. Как позже оказалось, взаимное смещение часов составило 30 секунд.

Как видно из рис. 4 и рис. 5, картина изменения показаний двух анемометров, с поправкой на разницу интервалов усреднений, примерно совпадает. Ход усредненных значений скорости ветра примерно повторяет ход показаний поверяемого анемометра. Воспроизводятся максимумы и минимумы, и соотношения между максимумами и минимумами.

По результатам калибровки было получено следующее уравнение для скорости ветра:

$$V\{m/s\} = 4.4 \cdot 10^{-3} \cdot N_{12}\{ppm\} \quad (3)$$

Теоретическая зависимость для полусферических чашечек ротоанемометра в соответствии с формулой (2) дает зависимость $V\{m/s\} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot N_{12}\{ppm\}$, что достаточно близко к измеренному значению.

Выполняя расчеты по формуле (1), получим, что коэффициенту ротоанемометра $\sigma = 4.4$ соответствует отношение аэродинамических сопротивлений в прямом и обратном направлении воздушного потока – $C_1/C_3 \approx 2.5$. Тогда как для полусферических чашечек $C_1/C_3 \approx 4$, а для плоских дисков $C_1/C_3 = 1$.

Таким образом, результаты калибровки анемометра не противоречат теоретическим данным. Полученные данные могут быть использованы для оценок скорости ветра.

4. Сезонно-суточные особенности изменения ветра по результатам регистрации

В результате измерений была обнаружена высокая степень изменчивости параметров ветра (рис. 6, 7). Соседние минутные значения показаний анемометра могут отличаться в несколько раз. То есть ветер не похож на непрерывный, равномерный поток, а состоит из череды отдельных порывов различной интенсивности.

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 рис. 6.

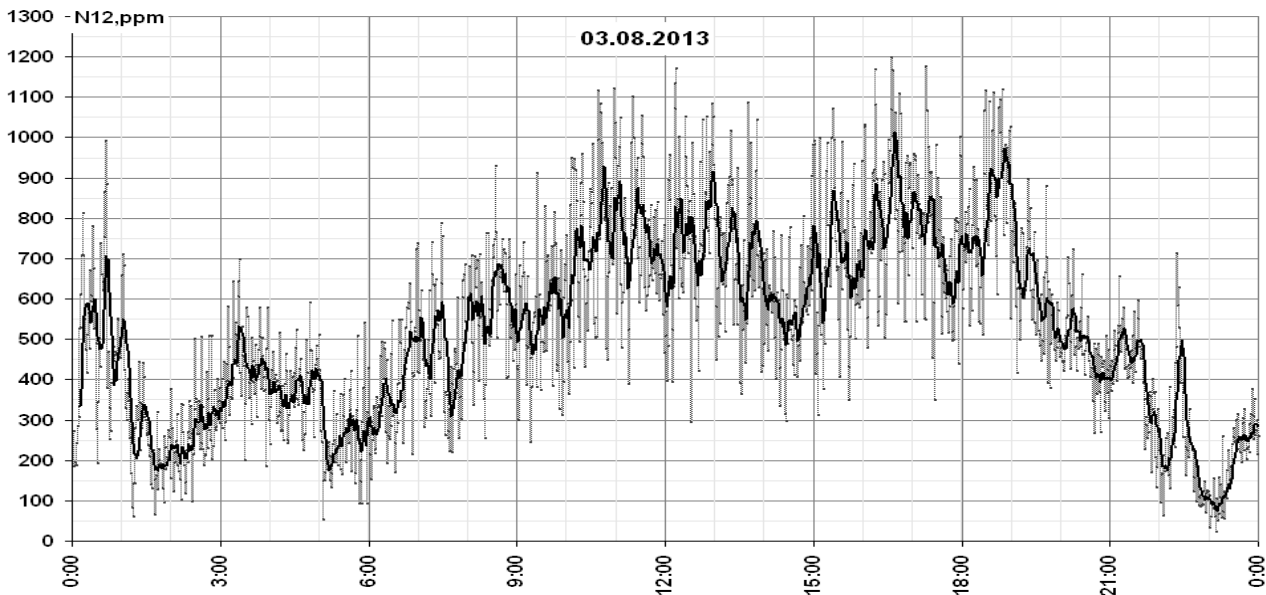


Рис. 6. Пример суточного хода показаний анемометра 03.08.2014. Ежеминутные значения и скользящее среднее на 10-минутном интервале

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.

На рис. 7 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.

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

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. Соответственно, для мощности ветра получается выражение: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2}$.

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

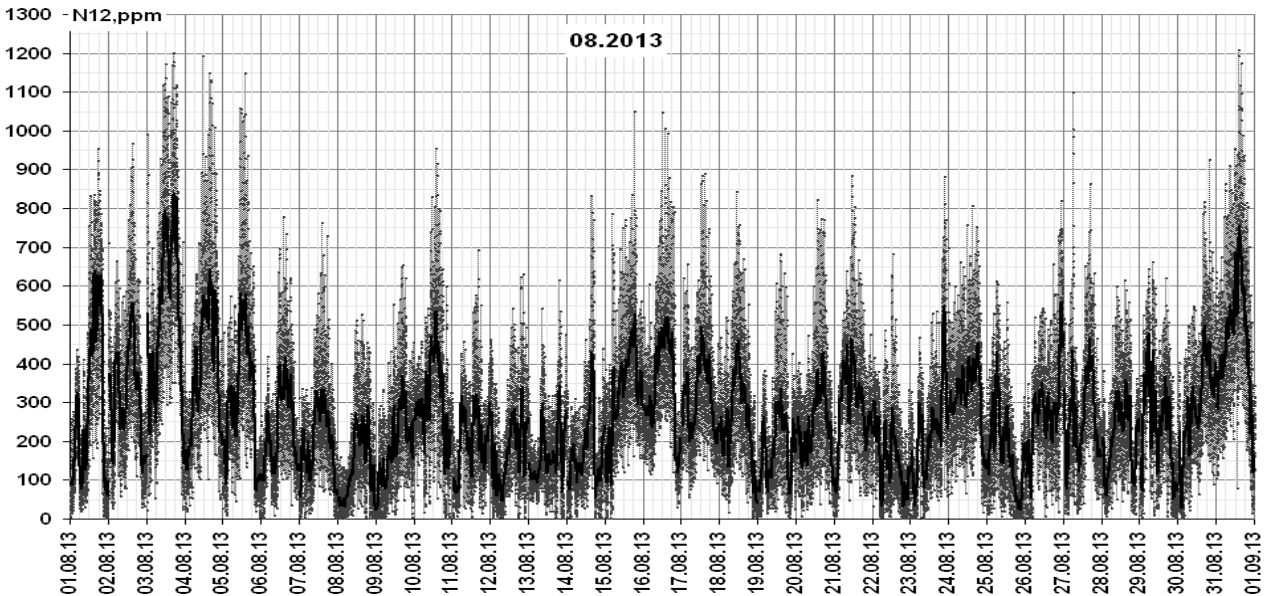


Рис. 7. Пример изменений показаний анемометра в августе 2014. Ежеминутные значения и скользящее среднее на часовом интервале

Естественно, мощности реальных ветро-энергетических установок связаны со скоростью ветра более сложным образом. Это относится как к очень маленьким скоростям – мощность недостаточна для преодоления сил трения, так и к очень большим скоростям – 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 скорость. Здесь $P(V)$ – вероятность реализации конкретного значения скорости V .

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

Для третьей степени – $\bar{V}_3 = \sqrt[3]{\int V^3 \cdot P(V) \cdot dP}$ – средне кубичное 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, но и средне квадратичной и средне кубичной скоростей ветра.

На рис. 8 приведены пример оценки месячных изменений средних, средне квадратичных и средне кубичных и максимальных значений при усреднении за сутки.

Средние значения имеют самое низкое значение, среднеквадратичное – несколько большее, средне кубичное – еще большее, и самое большое – максимальное в сутках значение. Показательно, что локальные максимумы и минимумы по дням месяца для всех способов усреднения совпадают. Это косвенно свидетельствует о едином статистическом законе распределения вероятностей значений скорости ветра в течение всего месяца. Средние, среднеквадратичные и средне кубичные значения значительно ближе между собой, нежели максимальные значения.

Подтверждением этого являются регрессионные зависимости между значениями показаний анемометра N12 для различных способов усреднения (рис. 9).

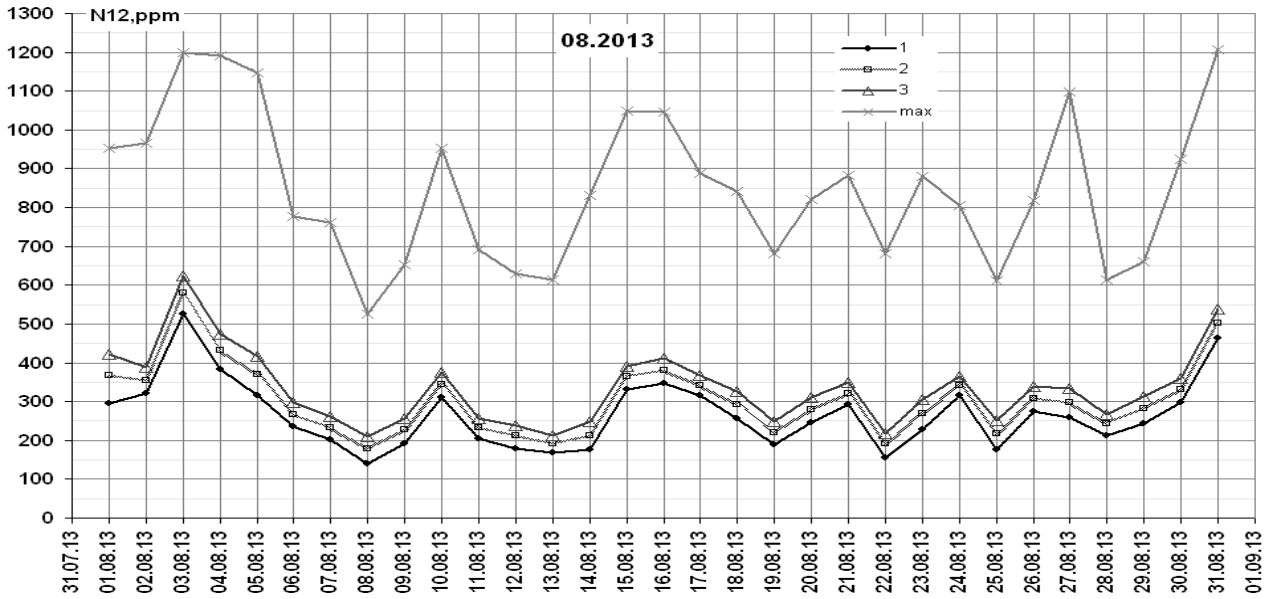


Рис. 8. Пример месячных вариаций ежесуточных показаний анемометра при различных способах усреднения

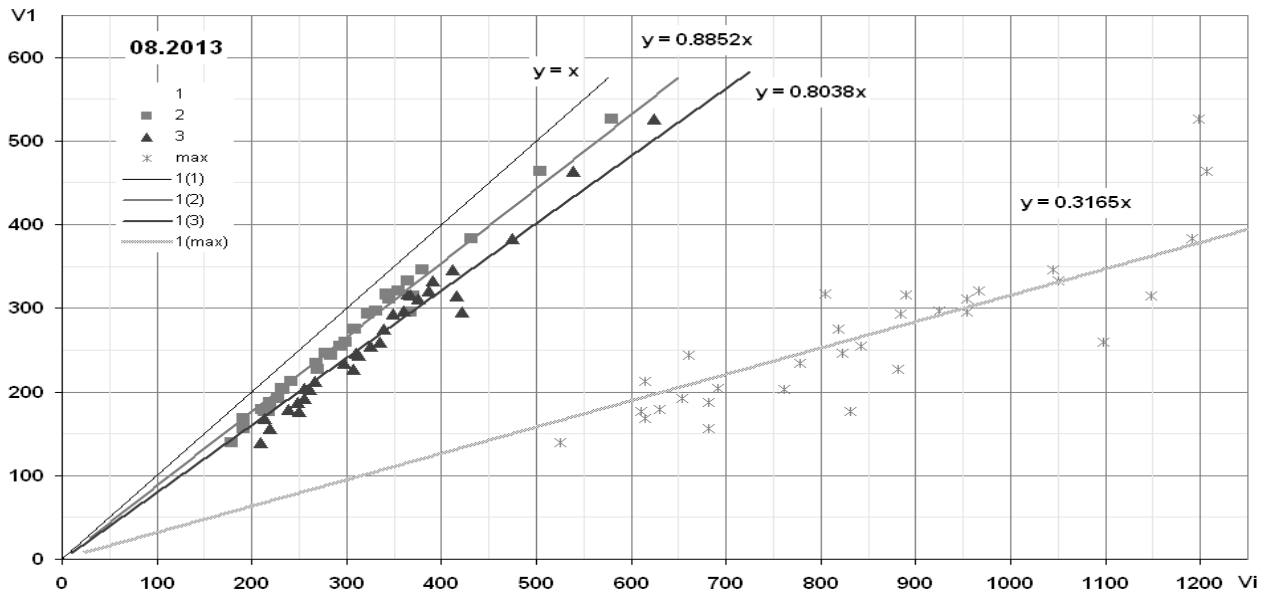


Рис. 9. Регрессионные связи между среднесуточными показаниями анемометра при различных способах усреднения

По вертикальной оси приведено среднее значение – 1, по горизонтальной – среднее – 1, среднее квадратичное – 2, среднее кубическое – 3, и максимальное – max, значения. Из графиков видно, что среднее, среднее квадратичное, среднее кубическое и максимальное значения линейно связаны между собой. Имея только средние значения $\overline{N12_1}$ можно восстановить остальные значения. В частности:

- $\overline{N12_2} \approx \overline{N12_1} \cdot 1.13$ – среднее квадратичное;
- $\overline{N12_3} \approx \overline{N12_1} \cdot 1.24$ – среднее кубическое;

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

Эти соотношения позволяют значительно упростить процедуру обработки статистических данных.

Измерения параметров ветра осуществлялись с конца июля 2013 по май 2014 и продолжаются в настоящее время.

На рис. 10 приведены зависимости среднесуточных и максимальных за сутки значений показаний анемометра на многомесячном интервале времени.

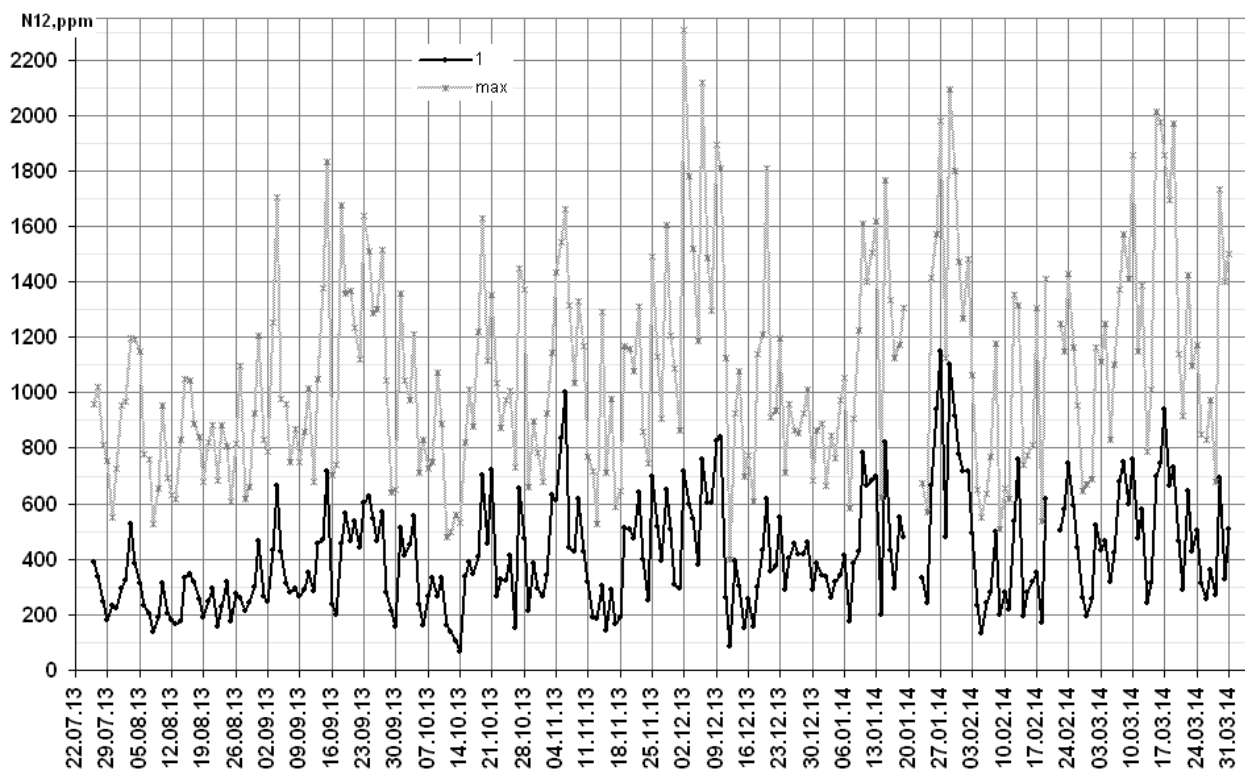


Рис. 10. Зависимость среднесуточных и максимальных значений показаний анемометра на многомесячном интервале (июль 2013 г. – март 2014 г.)

В целом изменения ветра имеют достаточно сложный характер. Как правило, межсуточные изменения максимальных значений повторяют изменения среднесуточных значений, при этом максимальные значения в 2-3 раза выше среднесуточных.

Наиболее высокие скорости ветра отмечались в начале декабря 2013 и конце января 2014. Наиболее низкие значения были в августе 2013 и на границе 2013-2014 годов. К сожалению, полученных данных недостаточно, чтобы дать оценку изменений ветра на годовом интервале, но можно ожидать, что заметный ветер на крыше университета присутствует практически всегда.

При проведении измерений с помощью анемометра, изготовленного из металлических элементов, пришлось столкнуться с очень неприятной особенностью конкретной конструкции. Во второй половине января 2014 года происходили резкие изменения температуры, сопровождавшиеся интенсивным обледенением корпуса анемометра, его ротора и чашечек. Корка льда достигала толщины около 1.5 см. Обледенение не могло не сказаться на аэродинамическом сопротивлении и коэффициенте связи между скоростью ветра и скоростью вращения анемометра. Более того, 20 января лед полностью заблокировал ротор анемометра. После удаления льда произошло повторное обледенение ротора с полной блокировкой 22 января 2014 года. Такие явления

делают актуальным решение задач борьбы с обледенением анемометра в зимний период.

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

5. Связь показаний анемометра и данных метеослужб

В Николаевской области имеется ряд метеостанций, измеряющих параметры окружающей среды и, в т. ч., скорость и направление ветра. Наиболее близким географически и доступными через интернет являются метеостанции, предположительно ассоциируемые с Николаевской метеостанцией в центре города вблизи телецентра [8], и метеоцентром Николаевского аэропорта [9]. Городская метеостанция [8] выдает данные круглосуточно, но с интервалами через 3 часа. Метеостанция аэропорта [9] выдает данные значительно чаще – через полчаса, но только для освещенного времени суток.

Учитывая географическое расположение и регулярность имеющихся в интернет данных, в качестве основного источника для сопоставления данных по ветру был выбран городской метеоцентр [8].

На рис. 11 приведен пример сопоставления параметров ветра по данным анемометра на крыше университета с данными городского метеоцентра для августа 2014 года.

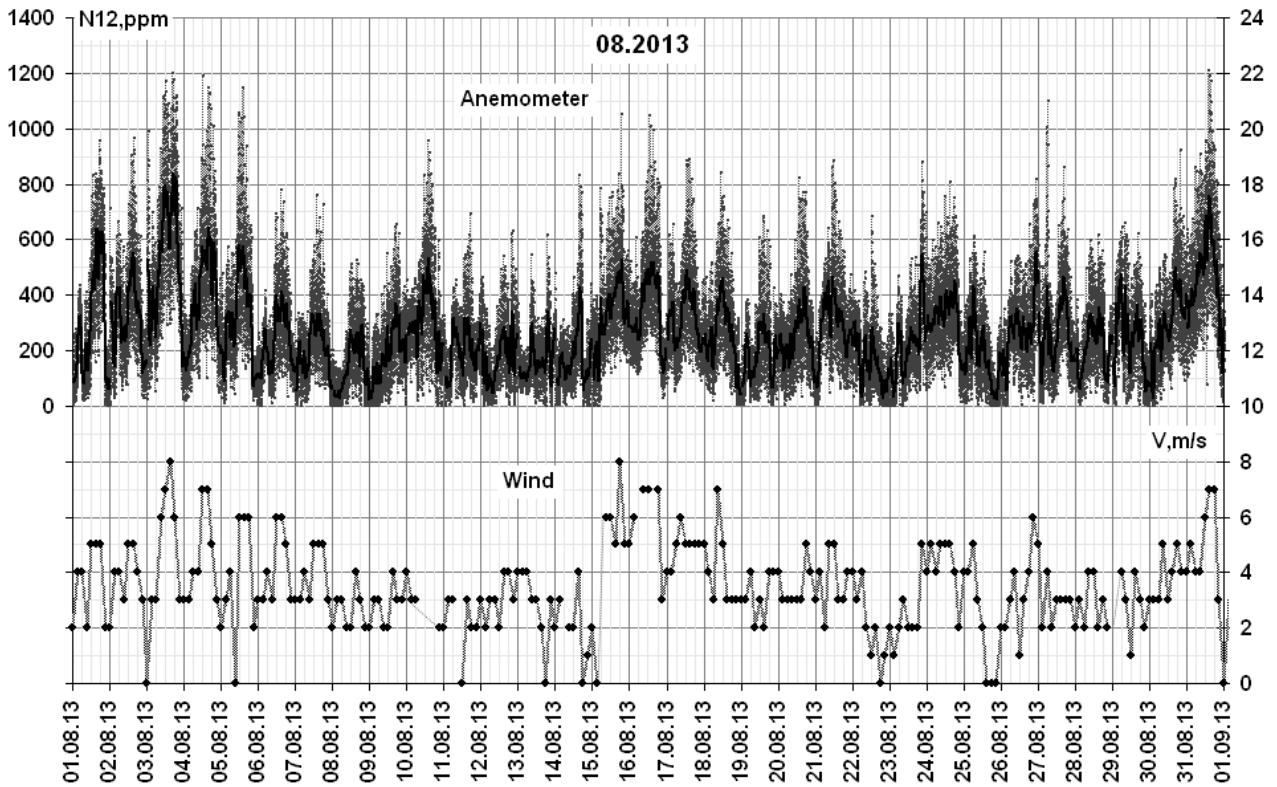


Рис. 11. Пример сопоставления показаний анемометра и скорости ветра по метео данным

На верхнем графике (шкала справа) приведены ежеминутные – светлые точки, и усредненные на часовом интервале – темная ломаная кривая, значения показаний анемометра. На нижнем – значение скорости ветра по метео данным [8] через 3 часа. Отдельные разрывы в нижней кривой обусловлены отсутствием соответствующих данных.

В целом, суточный и многодневный ход показаний анемометра повторяет ход скорости ветра по данным метеоцентра. Так, имеется определенное подобие между вариациями максимумов и минимумов. Вместе с тем, имеются определенные количественные расхождения. Например, среднечасовым значениям $N_{12} = 1000$ в локальном максимуме в полдень 03.08.13 соответствует скорость ветра 8 m/s, а значительно меньшим локальным максимумам $N_{12} = 500$ около полудня 15.08.13 и 16.08.13 соответствует достаточно высокая скорость ветра 7-8 m/s.

Таким образом, если использовать для калибровки анемометра среднечасовые значения N_{12} , скорость ветра по метео данным получим следующую связь:

$$V \{m/s\} = 10 \div 14 \cdot 10^{-3} \cdot N_{12} \{ppm\}. \quad (4)$$

Т. е. значение коэффициента связи для скорости ветра в 2-3 раз больше, чем значения (3), полученные в эксперименте по калибровке на крыше

университета. Возможные причины столь значительного расхождения будут рассмотрены ниже.

При поисках причин расхождений, прежде всего, следует указать, что данные метеостанции [8], в полном соответствии с международными стандартами представления метео данных, представлены средними значениями на 10-минутных интервалах усреднения с 45 по 55 минуты часа, предшествующего часу, представленному в отчете. Данная информация была получена в процессе электронной переписки с администраторами интернет-сайта [8].

Расстояние между университетом и городским метеоцентром составляет около 3 Km в направлении на запад. Ветру со скоростью 5 m/s на прохождение этого расстояния требуется около 10 минут. Таким образом, между отдельными порывами ветра даже при 10 минутном усреднении возможны значительные рассогласования, зависящие как от направления, так и от скорости ветра.

Поэтому от составления отдельных значений следует перейти к усредненным значениям. Естественнее всего это сделать для среднесуточных значений.

На рис. 12 показаны регрессионная зависимость среднесуточной скорости ветра по данным городского метеоцентра, от среднесуточных показаний анемометра на крыше университета.

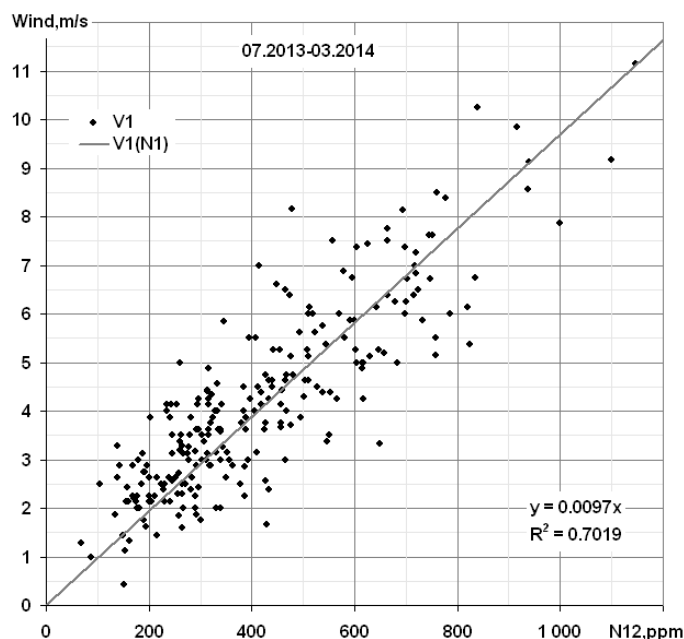


Рис. 12. Регрессионная связь между среднесуточными показаниями анемометра и среднесуточной скоростью ветра по данным городского метеоцентра

Из графика видно, что определенная связь между ветром на крыше университета, и ветром, фиксируемым городским метеоцентром есть. Но степень корреляции между двумя точками не очень высока. По этим данным уравнение для скорости ветра имеет вид:

$$V\{m/s\} \approx 10 \cdot 10^{-3} \cdot N_{12}\{ppm\}. \quad (5)$$

Для выяснения причин относительно низких значений корреляции были проанализированы регрессионные зависимости с привлечением данных по скорости ветра Николаевского аэропорта, расположенного на расстоянии около 10 Км на северо-запад от городского метеоцентра.

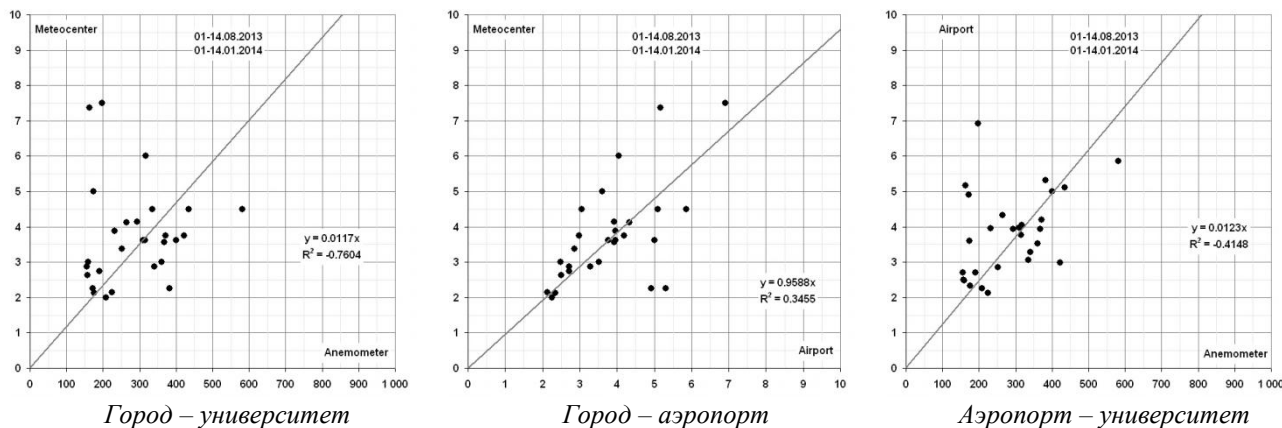


Рис. 13. Регрессионные зависимости между среднесуточными зависимостями различных пар измерителей ветра на выборочных интервалах времени

Для уменьшения объема вычислений было выбрано только два интервала времени по 14 дней: летом 01-14.08.2013, и зимой 01-14.01.2014. Так как аэропорт не дает данных по ночным часам, при усреднении (для сопоставимости данных) были исключены ночные часы.

Из графиков рис. 13 видно, что степень корреляции между ветром в разных географических точках, даже при усреднении в дневные часы, не очень высока. Среди факторов, оказывающих влияние на различие в характеристиках ветра, можно отметить следующие: существенные различия в рельефе и характере застройки прилегающей местности; различия в расположении относительно николаевских рек – Ингула и Южного Буга; различия в высотах

размещения измерительных точек. Кроме того, нельзя исключить и различий в инерционных характеристиках средств контроля скорости ветра. Так, анемометр с большим радиусом ротора будет более инерционным, и в меньшей степени будет реагировать на кратковременные, короткие порывы ветра. Окончательное выяснение причин различий требует проведения дальнейших, более детальных исследований. Есть надежда, что при достаточно длинных выборках массивов данных разница в параметрах ветра уменьшится.

В заключение, приведем краткую сводку результатов оценки коэффициента пересчета показаний анемометра – N_{12} в скорость ветра для

формулы, учитывающей конструктивные особенности конкретного ротанеометра $V\{m/s\} \approx \sigma \cdot 10^{-3} \cdot N_{12}\{ppm\}$:

- линейная скорость чашечек анемометра $\sigma = 1$;
- теоретическое значение для полых сферических чашечек $\sigma = 3$;
- результаты калибровки на крыше университета $\sigma = 4.4$;
- результаты сравнения среднесуточных значений показаний анемометра со среднесуточными значениями скорости ветра по городской метеостанции $\sigma = 9.7$.

Теоретические оценки по порядку величины близки к результатам калибровки на крыше. Остается неясным, почему для оценки скорости ветра городской метеостанции надо результаты калибровки увеличивать более чем в 2 раза. Создается впечатление, что на крыше университета скорость ветра в 2 раза меньше, чем на метеостанции, что находится в явном противоречии с существующими представлениями о зависимости скорости ветра от высоты. В частности считается, что с увеличением высоты скорость ветра увеличивается. Выявление причин этого противоречия требует специальных дополнительных исследований.

Выводы и рекомендации

1. В Черноморском государственном университете (г. Николаев, Украина) находится в опытной эксплуатации комплекс средств автоматического цифрового контроля параметров окружающей среды. С середины лета 2013 года в дополнение к датчикам температуры и фотоэлектрическим солнечным батареям, комплекс был дооснащен самодельным анемометром. Этот анемометр, кроме своей прямой функции – измерения скорости ветра, еще и предотвращает загрязнение поверхности солнечных батарей птицами.

2. В результате измерений была обнаружена высокая степень изменчивости параметров ветра во

времени. Т. е. ветер не похож на непрерывный, равномерный поток, а состоит из череды отдельных порывов различной интенсивности. Это требует привлечения специальных методов статистической обработки для корректного перехода к среднесуточным и среднемесячным характеристикам ветра. Такая изменчивость скорости ветра может существенно влиять на оценки эффективности работы ветровых энергетических установок.

3. Выполнен анализ изменений среднесуточных значений скорости ветра с учетом того, что энергия ветра пропорциональна кубу его скорости, для различных способов усреднения показаний анемометра. А именно средних, средне квадратичных, средне кубических. Показана тесная линейная связь этих характеристик между собой. Это позволяет в ряде случаев ограничиться только анализом средних значений, делая соответствующую поправку на другой способ усреднения.

4. Проведен анализ вариаций среднесуточных и максимальных за сутки значений скорости ветра на интервале август 2013 – апрель 2014. На этом интервале времени заметных сезонных вариаций для среднесуточных и максимальных значений скорости не выявлено. Необходимо продолжить измерения в летний период для выявления возможных сезонных зависимостей.

5. Проведена калибровка анемометра несколькими независимыми способами. В том числе, путем сравнения с эталонным анемометром и сравнениями с данными по скорости ветра Николаевской городской метеостанции. Результаты калибровки выявили подобие относительных изменений скорости ветра при существенном отличии абсолютных значений. Выявление причин этих различий требуют проведения дополнительных исследований.

ЛІТЕРАТУРА

1. Атмосфера // Справочник (справочные данные, модели). – Ленинград : Гидрометеиздат, 1991. – 510 с.
2. Комплексная система учета и контроля температурных режимов административных зданий с помощью ip s&c системы и сети ethernet / Андреев В. И., Дмитренко Н. В., Зюляев Д. Д., Кубов В. И., Черемисина В. В., Чухлебов А. В. // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Т. 187. Вип. 175. Техногенна безпека. – Миколаїв : ЧДУ ім. Петра Могили, 2012. – С. 23–36.
3. Зюляев Д. Д. Диспетчеризація температурних показників у приміщеннях навчального закладу із використанням локальної комп'ютерної мережі (на прикладі ЧДУ ім. Петра Могили) / Д. Д. Зюляев, В. І. Кубов, Л. В. Шесюк // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Т. 163. Вип. 151. Техногенна безпека. – Миколаїв : ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – С. 103–109.
4. Зюляев Д. Д. Комплекс засобів контролю температурних режимів університету та дослідження джерел «зеленої» енергії у миколаївському регіоні / Д. Д. Зюляев, В. І. Кубов, В. В. Черемисина // Вісник київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – № 6 (74). – С. 40–44.
5. Экспериментальные и теоретические исследования параметров солнечных фотоэлектрических батарей для оценки их энергетической эффективности / Андреев В. И., Кубов В. И., Кубова Р. М., Павленко А. А. // Наукові праці : науково-методичний журнал. – Т. 210. Вип. 198. Техногенна безпека. – Миколаїв : ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С. 129–136.
6. Качурин Л. Г. Методы метеорологических измерений / Л. Г. Качурин. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 456 с.
7. Shenzhen Flus ET-935 Anemometer [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://szflus.com/93-anemometer-et-935.html>. – Интернет ресурс на 04.05.2014.
8. Метеоданные Николаева [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pogoda.ru.net/weather.php?id=33846>. – Интернет ресурс на 04.05.2014.
9. Метеоданные по аэропорту Николаева [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://meteocenter.net/UKON_current.htm. – Интернет ресурс на 04.05.2014.
10. Григор'єва Л. І. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище : навчальний посібник / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томлін. – Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2005. – 172 с.

Рецензенти: Григор'єва Л. І., д. б. н., професор;
Кутковецкий В. Я., д. т. н., професор.

© Боженко А. Л., Зюляєв Д. Д.,
Козуб С. В., Кубов В. І., 2014

Дата надходження статті до редколегії 05.05.2014 р.

БОЖЕНКО Анна Леонідівна – провідний фахівець кафедри якості, стандартизації та техногенно-екологічної безпеки Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: екологічна безпека, моніторинг параметрів навколишнього середовища.

ЗЮЛЯЄВ Данило Дмитрієвич – аспірант кафедри екології та природокористування Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: системи збору й обробки даних.

КОЗУБ Світлана Володимирівна – бакалавр Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: електронні прилади для контролю середовища та біофізичних параметрів.

КУБОВ Володимир Ілліч – кандидат технічних наук, доцент кафедри медичних приладів і систем Чорноморського державного університету ім. Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: електронні прилади для контролю середовища та біофізичних параметрів.