

Таким образом, мощность и доступность имеющихся на месте строительства природных и других энергетических ресурсов, характер, производительность и стоимость средств их использования влияют на целесообразность и выбор энергоактивности объекта.

ВЫВОДЫ

Наиболее перспективным классом современных архитектурных объектов следует признать энергоактивные здания и комплексы. При этом намечается объективная тенденция к полному замещению в энергобалансе зданий традиционных источников энергии альтернативными. С учетом длительных (до 100 лет) сроков эксплуатации большинства капитальных зданий требуются проектные решения, которые обеспечивали бы возможность наращивания энергоактивности зданий с течением времени, т.е. возможность поэтапной модернизации энергетической структуры объекта от состояния энергоэкономичности к использованию энергии природной среды пассивными, а затем и активными средствами. Экономически эффективными, а значит, пригодными к использованию в массовом строительстве являются сегодня пассивные средства использования энергии природной среды. При этом наилучшие экономические результаты дает комбинированное использование пассивных и активных энергосистем. В современных условиях при выборе средств использования энергии природной среды решающее значение приобретают их потребительские качества - стоимость и простота эксплуатации.

Следует отметить, что объективная необходимость полной замены традиционных энергоносителей в ближайшие 50 лет обуславливает рост актуальности проблемы производства энергии от возобновляемых природных источников, а также интеграцию в единые производственные комплексы технических систем, ориентированных на использование и традиционных, и альтернативных источников энергии. На ближайшую перспективу наиболее целесообразными признаются разнообразные комбинированные схемы энергоснабжения, сочетающие использование традиционных, энергоэкономичных и одного или нескольких видов альтернативных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. А. Маркус, Э. Н. Моррис. Здания, климат, энергия. Пер. с англ. под ред. Н. В. Кобышевой, Е. Г. Малявиной. - Ленинград, Гидрометеиздат, 1985. - 544 с.
2. Энергоактивные здания/ Н. П. Селиванов, А. И. Мелуа, С. В. Зоколей и др.; Под ред. Э. В. Сарнацкого, Н. П. Селиванова. - М.: Стройиздат, 1988 - 376с.
3. У.А. Бекман, С.А. Клейн, Дж.А. Даффи. Расчет солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. - 79 с.
4. www.sciteclibrary.com Аналитические обзоры «Энергоэффективное строительство», Жуков Д.Д., Лаврентьев Н.А.
5. www.LIB.ru «Теплоснабжение зданий с использованием систем утилизации солнечной энергии», д.т.н. В.С. Степанов, профессор; к.т.н. И.И. Айзенберг, доцент; к.т.н. Е.Э. Баймачев.

УДК 621.548

Создание статистических моделей выработки электроэнергии ветроэлектростанции для кратковременного и длительного прогноза выработки

**Кучеренко О.Л., студентка группы НВИЭ-501, Бонев Д.Б., ассистент
Национальная академия природоохранного и курортного строительства**

В работе представлены результаты разработки статистической модели выработки электроэнергии ветроэлектростанции для двухсуточного и семисуточного прогноза выработки по реальным данным за предыдущий период, полученным на Судакской ВЭС за два года непосредственных измерений посуточно. Прогнозы выполнены по данным о скорости ветра как для указанного числа суток, так и для месяца в целом.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлены результаты разработки статистической модели выработки электроэнергии ветроэлектростанции (ВЭС) для двухсуточного и семисуточного прогноза выработки по реальным данным за предыдущий период, полученным на Судацкой ВЭС за два года непосредственных измерений посуточно. Прогнозы выполнены по данным о скорости ветра V как для указанного числа суток, так и для месяца в целом. Прогнозирование по скорости ветра V наиболее удобно при использовании ветроустановок (ВЭУ) с различной начальной скоростью ветра V_0 . Полученные результаты дают возможность прогнозировать с заданной вероятностью предстоящую выработку электроэнергии для суточного графика покрытия нагрузок (СГПН), в котором участвует ВЭС.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Ветровая энергетика в мире быстро занимает значительное место среди энергогенерирующих технологий. Фундаментальным осложнением на пути ее широкого внедрения остается изменяющийся характер и непредсказуемость ветровой энергии. Традиционные электростанции (ЭС) - тепловые (ТЭС), атомные (АЭС), гидроэлектростанции (ГЭС), гидроаккумулирующие (ГАЭС) характеризуются гарантированной мощностью, а на электростанциях на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – солнечных (СЭС) и ветровых (ВЭС) мощность определяется вероятностными характеристиками первичных энергоносителей – энергией ветра и солнечного излучения.

Как известно, режимы работы ЭС определяются суточными графиками покрытия нагрузок (СГПН) – т.е. согласованием генерируемой мощности источников и потребляемой мощности приемников [1]. СГПН в объединенной энергосистеме Украины (ОЭСУ) сложились за многолетний период эксплуатации ОЭСУ исключительно с традиционными электростанциями гарантированной мощности. СГПН включает базовую (нерегулируемую) часть мощности в составе АЭС, промышленных станций и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), регулируемую часть, которая обеспечивается ТЭС, и резервную часть мощности за счет ГЭС и ГАЭС. Включение ВЭС и СЭС возможно только в регулируемую и в резервную часть СГПН [2]. Однако, при этом требуется тщательная оценка прогнозируемой вероятностной мощности ВЭС и СЭС и определение алгоритма регулирования мощности ОЭСУ в случае отклонения \pm прогнозируемой мощности от фактической. Алгоритм должен предусматривать замену мощности ВЭС и СЭС за счет других станций и должен определять \pm резерв замены.

Совмещение режимов генерации АЭС, ТЭС, ТЭЦ, ГЭС, ГАЭС в объединенной ОЭСУ с режимами генерации СЭС и ВЭС представляет сложнейшую технико-экономическую задачу. Решение этой задачи осложняется многими факторами, в первую очередь, технической отсталостью и соответственно недостатком режимов регулирования традиционных электростанций, имеющих срок службы свыше 30-40 лет, с одной стороны, и ростом мощности ВЭС и СЭС и желанием владельцев ВЭС и СЭС продавать в ОЭСУ больше энергии в связи с преимуществами «зеленого тарифа». При этом сравнительно малый срок эксплуатации ВЭС и СЭС в ОЭСУ (для ВЭС – порядка 10 лет, для СЭС – примерно 2 года) затрудняет получение надежных вероятностных оценок их мощности для составления СГПН.

РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВЕТРА

Потребность в прогнозировании текущей продуктивности ВЭС зависит от уровня внедрения ветровой энергетике [3]. Считается, что при части установленной мощности ВЭС в общем объеме генерирующих мощностей на уровне 5 % необходимость в точном прогнозировании становится насущной, а для уровня 10 % и выше – критически необходимой, так как при возрастании уровня внедрения ветровой энергетике, растет влияние случайных факторов на всю энергосистему, что усложняет ее планирование и диспетчеризацию. При этом растет необходимость в резервных мощностях ЭС.

Следовательно, для интегрирования ВЭС в энергосистему необходимо иметь нормируемый инструментарий предсказания их предстоящей мощности.

Методы прогнозирования продуктивности ВЭС в Европе разрабатываются на протяжении последних 20 лет, при этом обычно рассматривают 48-часовой интервал времени [3]. Сложность методов выбирается в зависимости от степени внедрения ветроэнергетики и требований местных операторов сетей.

Методы прогнозирования ветровой энергии можно разделить на две категории – физические и статистические. Первые исследуют ряд физических особенностей атмосферы и ее взаимодействия с поверхностью земли, вторые базируются на статистических закономерностях среди массива результатов непосредственных измерений на данной площадке ВЭС. Обычно типовые методы используют одновременно как физические, так и статистические модели.

Далее рассматривается использование статических моделей. Стохастическое моделирование работы энергосистемы на севере Европы, которое определяется довольно высоким уровнем внедрения ветроэнергетики, было реализовано, в частности, в исследовательском проекте «Интегрирование ветровой энергии в либерализованный энергорынок» (WILMAR), разработанном при поддержке Еврокомиссии [4]. Целью проекта было определение дополнительных расходов, связанных с переменным характером ветровой энергии.

Обоснованным горизонтом (протяженностью) предвидения определено 48 часов (двое суток), при этом прогноз на первые 6 часов считается достаточно точным для организации работы резервных мощностей ТЭС и ГЭС.

Разные виды метеорологических прогнозов разработаны Европейским Центром Среднесрочного Прогнозирования Погоды (ECMWF) и Национальным Центром Экологического Прогнозирования (NCEP). Прогнозы ECMWF имеют максимальное время предвидения 168 часов (7 суток) с дискретностью 6 часов [4]. Недостатком метеорологических прогнозов является не достаточная точность прогноза из-за различий в расположении метеостанции и площадки ВЭС. Особо имеют значение различия высоты площадки метеостанции над уровнем моря по сравнению с условиями площадки ВЭС и различная высоты метеобашни для измерения скоростей ветра и высоты башни ВЭУ.

В данной работе представлены результаты разработки статистической модели выработки электроэнергии ВЭС для двухсуточного и семисуточного прогноза выработки по реальным данным за предыдущий период, полученным на Судакской ВЭС (35 ветроустановок (ВЭУ) типа USW 56-100) за два года непосредственных измерений. Исходные данные были представлены посуточно за каждый день в течение года. Прогнозы имеют время предвидения 48 часов (2 суток, модель 1) и 168 часов (7 суток – модель 2) с дискретностью 1 час и выполнены по данным о скорости ветра. Хотя в реальных данных по эксплуатации Судакской ВЭС имеются сведения, как по скорости ветра, так и по выработке электроэнергии, прогнозирование по скорости ветра V наиболее удобно, поскольку позволяет использовать результаты прогноза при применении на данной площадке других ВЭУ с различной начальной скоростью ветра V_0 .

Для построения статистической модели скоростей ветра были использованы характеристики скорости ветра в рассматриваемом часовом графике скоростей в каждом интервале времени суток. Для каждой модели 1, 2 определялись две характеристики: среднее значение скорости V_{ci} и среднеквадратичное отклонением σ_i согласно нормальному закону распределения за месяц.

Среднее значение скорости ветра V_{ci} и среднеквадратичное отклонение σ_i вычислялись по формулам:

$$V_{ci} = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_1^{n_i} V_i$$

$$\begin{cases} D_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n (V_i - V_c)^2 \\ \sigma = \sqrt{D_x} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_1^n (V_i - V_c)^2} \end{cases}$$

Вероятность P_i появления тех или иных максимумов - V_{maxi} и минимумов - V_{mini} скорости ветра, в i -том интервале равняется:

$$V_{max} = V_c + t \cdot \sigma = V_c \cdot (1 + t \cdot \gamma)$$

$$V_{min} = V_c - t \cdot \sigma = V_c \cdot (1 - t \cdot \gamma)$$

где t – нормированное отклонение или стандарт;

γ – коэффициент вариации скорости, равный $\gamma = \frac{\sigma}{V_c}$

Согласно [5] в рассматриваемом i -том интервале значения t приняты равными 2,0...2,5. При этом вероятность реализации P_i для V_{maxi} , V_{mini} составляет 0,025...0,005. В табл.1,2 приведены результаты расчетов для моделей 1 и 2 с указанием

вероятностей 0,025 для V_{maxi} , V_{mini} .

Таблица 1

Статистическая модель 1 прогнозирования V по месяцам в целом

Месяц	январь	декабрь	ноябрь	октябрь	сентябрь	август	июль	июнь	май	апрель	март	февраль
V_c	5,83	7,12	6,54	5,97	5,37	4,43	4,63	4,62	5,85	7,11	6,46	7,61
σ	1,9	1,9	2,5	2,5	1,9	1,7	1,3	1,3	2,0	2,2	2,3	2,1
$P_i V_{maxi}$	9,6	11,0	11,5	10,9	9,3	7,7	7,3	7,1	9,9	11,6	11,0	11,7
$P_i V_{mini}$	2,0	3,3	1,6	1,0	1,5	1,1	1,9	2,1	1,8	2,6	1,9	3,5

Таблица 2

Статистическая модель 2 прогнозирования V по месяцам в целом

Месяц	январь	декабрь	ноябрь	октябрь	сентябрь	август	июль	июнь	май	апрель	март	февраль
V_c	5,9	7,4	6,5	6,2	5,4	4,5	4,7	4,7	5,9	7,4	6,5	7,6
σ	1,2	1,5	1,5	1,7	0,9	1,1	1,0	0,6	1,2	0,9	0,8	0,7
$P_i V_{maxi}$	8,3	10,5	9,5	9,6	7,2	6,6	6,7	5,9	8,2	9,1	8,2	9,0
$P_i V_{mini}$	3,5	4,3	3,5	2,9	3,6	2,4	2,8	3,4	3,6	5,7	4,9	6,2

В связи с тем, что исходный массив значений скоростей ветра на площадке ВЭС был представлен только за два года, дисперсия для значений суточных прогнозов за двое и за семь суток не определялась. Поэтому вероятность полученных суточных прогнозов составляет не более 0,7.

На рис.1 представлены графики двухсуточных значений прогнозов скорости ветра и среднее значение скорости ветра за весь месяц, по одному месяцу в квартал - за ноябрь и февраль.

На рис.2 представлены графики семисуточных значений прогнозов скорости ветра и среднее значение скорости ветра за весь месяц по одному месяцу за квартал – за ноябрь.

Графики прогнозов выбраны для времени года с наибольшими колебаниями скорости ветра на данной площадке ВЭС.

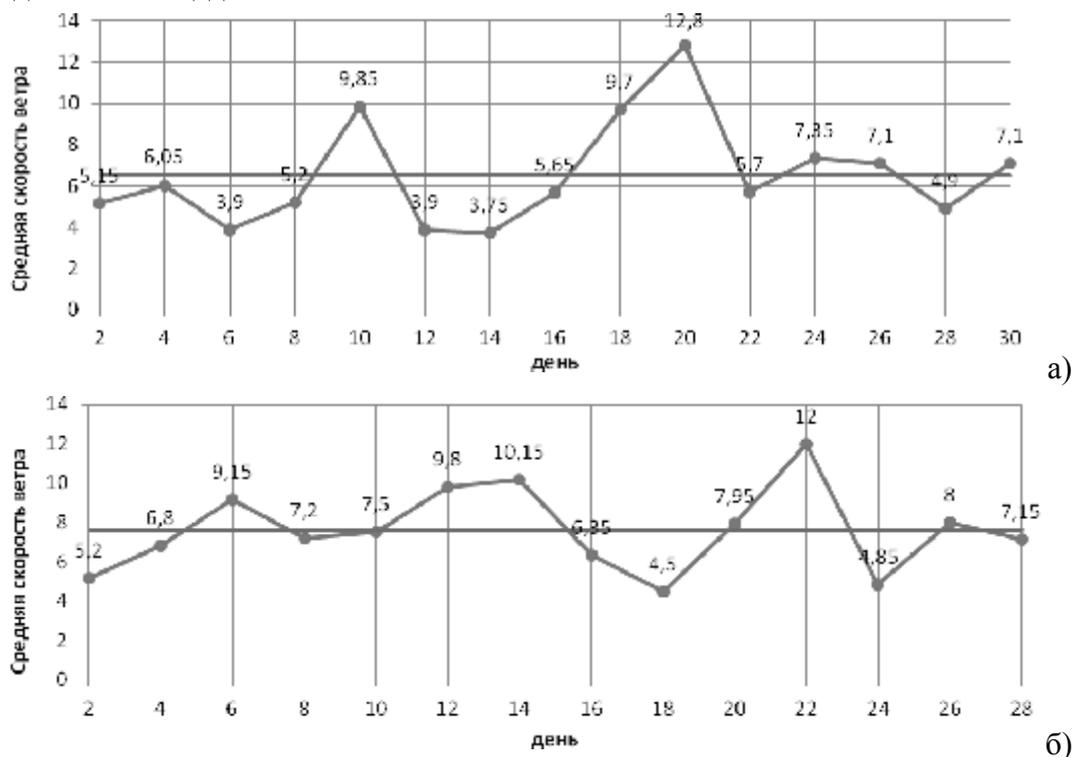


Рис.1. Графики двухсуточных значений прогнозов скорости ветра и среднее значение скорости ветра за весь месяц, а) ноябрь, б) февраль

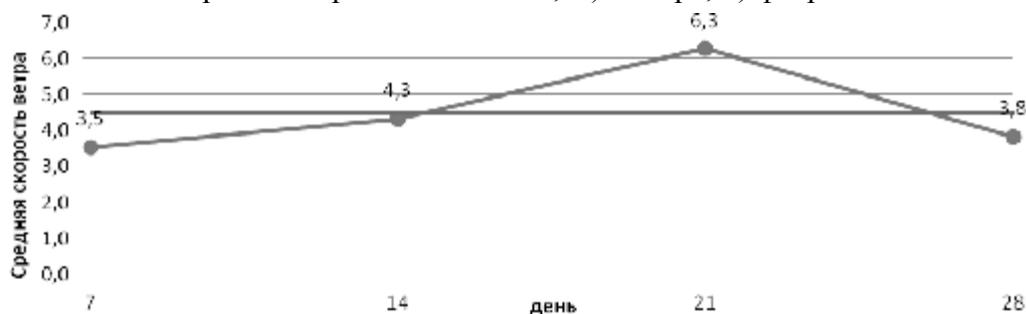


Рис.2. Графики семисуточных значений прогнозов скорости ветра и среднее значение скорости ветра за ноябрь месяц

ВЫВОДЫ

Выполнена разработка статистической модели выработки электроэнергии ВЭУ и ВЭС для двухсуточного и семисуточного прогноза выработки по реальным данным за предыдущий период, полученным на Судакской ВЭС за два года непосредственных измерений посуточно. Прогнозы выполнены по данным о скорости ветра, как для указанного числа суток, так и для месяца в целом.

В связи с малым объемом годовых значений скоростей ветра на площадке ВЭС (за два года) вероятность двухсуточного и семисуточного прогноза невелика.

Для расширения использования генерации ВЭС в объединенной энергосистеме Украины и Крыма необходимо уточнение статистических моделей выработки ВЭС на основе предыдущих лет работы ВЭС на данной площадке в течение не менее 5...8 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила.- Киев: Объединение энергетических предприятий «Отраслевой резервно-инвестиционный фонд развития энергетики», 2003 – 628 с.

2. В.А. Нейман. Ветроэлектрическая мощность в объединенной энергосистеме // *Відновлювана енергетика*. 2008.- № 2– С.58-62.

3. М.П. Кузнецов. Методы прогнозування виробітку електроенергії вітровими електростанціями // *Відновлювана енергетика*. 2010.- № 3 – С.42-47.

4. Мировой опыт интеграции ветропарков значительной мощности в энергосистему // [http://www.ewa.org/051215 Grid report.pdf](http://www.ewa.org/051215%20Grid%20report.pdf)

5. Зорин В.В., Тисленко В.В. Системы электроснабжения общего назначения.- Чернигов: ЧГТУ, 2005.- 341 с.

УДК 621.311.24

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Наумов П.С., студент группы НВИЭ-501, Сокут Л.Д., доцент, канд. техн. наук

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

В работе приводятся основные характеристики и направления в развитии параметров ветроэлектростанций за последние пятнадцать лет по мере расширения строительства ветроэлектростанций.

ВВЕДЕНИЕ

Ветроэнергетический сектор в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ) за последние пятнадцать лет является самым динамичным и высокотехнологическим сектором [1,2]. Ветроэлектростанции (ВЭС) входят в в объединенные энергетические сети (ОЭС) во всем мире и в объединенную энергетическую сеть Украины (ОЭСУ) наряду с традиционными электростанциями - тепловыми, атомными и мощными гидроэлектростанциями.

На рис.1 представлен график роста мощности ВЭС в мире к 2010 году

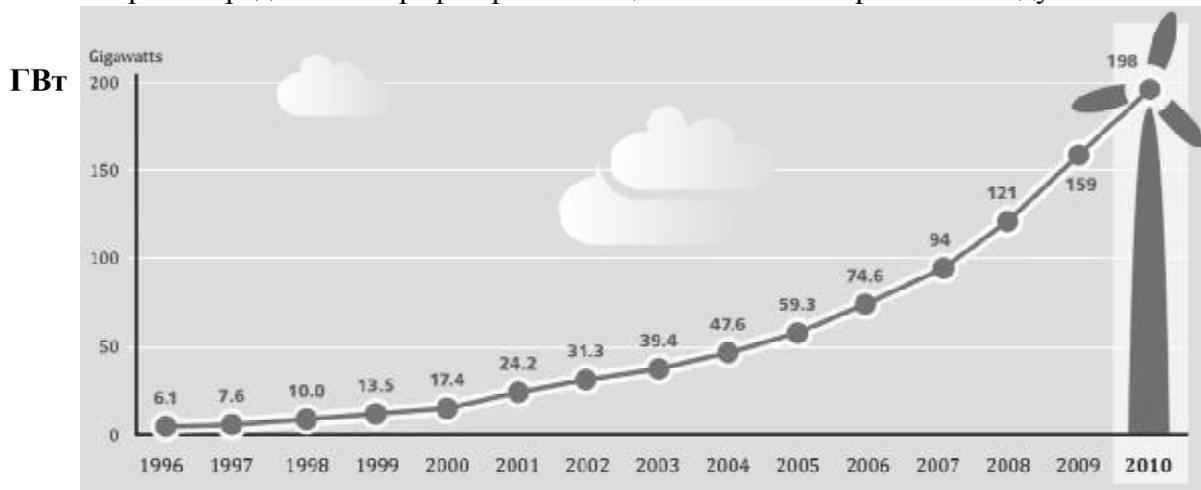


Рис. 1 Установленная мощность ветроэлектростанций в мире к 2010 г.

Прогноз установленной мощности ВЭС в мире от Всемирной Ассоциации Ветроэнергетики (WWEA) на 2011 год составляет 240 ГВт.

Успехи в строительстве и эксплуатации ВЭС в первую очередь обусловлены развитием и совершенствованием ветроэлектростанций (ВЭУ).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Значительный технический прогресс за прошедшие 10...15 лет в создании ВЭУ, особенно, электрогенераторов (ЭГ) и преобразователей параметров электроэнергии в составе ВЭУ позволяет ВЭУ генерировать электроэнергию в широком диапазоне изменения скорости ветра от 2 до 25 м/с. в ОЭС и в ОЭСУ с высоким КПД и стандартными параметрами по напряжению и частоте.