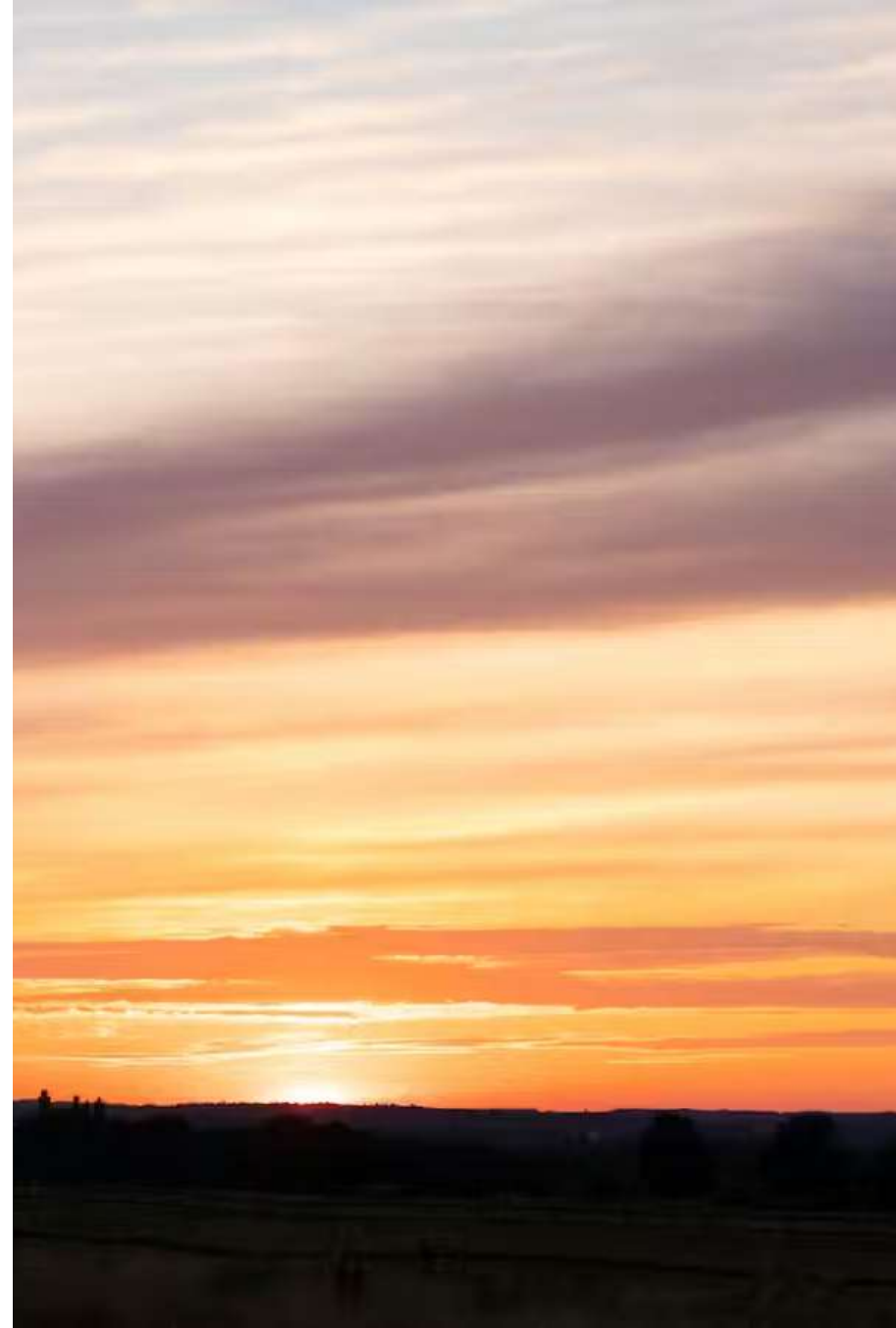


Основы аэродинамики ветротурбин

Лекция 8: Энергетический кадастр ветра

Лектор: Байжұма Жандос Ескендірұлы

Тел.: +7 707 556 60 08 | Email: zhandos.baizhuma@kaznu.edu.kz



Цель и основные вопросы лекции

Цель лекции

Познакомиться с методами оценки ветрового ресурса, понять распределение скорости ветра по высоте и освоить математические подходы к расчету энергии ветра.

Ключевые темы

- Энергетический кадастр ветра и его назначение
- Изменение скорости ветра с высотой
- Математические функции распределения
- Методика исследования ветрового ресурса
- Оценка потенциальной энергии ветра

Энергетический кадастр ветра

Энергетический кадастр ветра представляет собой систематизированную информацию о ветровых ресурсах определённой территории, которая используется для оценки потенциала ветроэнергетики. Создание такого кадастра является важнейшим этапом в планировании и проектировании ветроэнергетических установок.



Систематизация данных

Средняя скорость ветра, изменчивость, направления и частота различных ветровых режимов



Оптимальное размещение

Определение лучших мест для установки ветроэнергетических объектов



Прогнозирование

Оценка потенциальной выработки энергии ветроустановками



Изменение скорости ветра с высотой

Скорость ветра увеличивается с высотой над землёй из-за уменьшения турбулентности и сопротивления поверхности. Для описания этого процесса применяется степенной профиль ветра:

$$v(h) = v_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha$$

где v_{ref} — скорость ветра на опорной высоте h_{ref} , а α — показатель шероховатости, зависящий от характеристик местности (городская застройка, лес, равнина).

Поверхность земли

Минимальная скорость из-за трения о землю и препятствий

Средняя высота (10-50 м)

Постепенное увеличение скорости с уменьшением влияния поверхности

Высота турбины (50-100 м)

Оптимальная скорость для эффективной генерации энергии

Распределение Вейбулла

Для точного описания распределения скоростей ветра применяются статистические функции. Наиболее часто используется распределение Вейбулла, которое хорошо подходит для моделирования вероятностей различных значений скорости ветра.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-(v/c)^k}$$

Параметры функции

- **v** — скорость ветра
- **k** — параметр формы
- **c** — масштабный параметр, характеризующий среднюю скорость ветра

Применение

Использование таких моделей позволяет прогнозировать распределение ветрового потока и оценивать ожидаемую производительность ветроэнергетических установок. Это особенно важно при проектировании турбин.



Ветровой потенциал Казахстана

В условиях Казахстана, где рельеф и климатические особенности существенно влияют на характеристики ветра, создание точного энергетического кадастра является необходимым для успешного развития ветроэнергетики.

6-8

Скорость ветра

Среднегодовая скорость
на высоте 50-100 метров
(м/с)

50-100

Высота установки

Типичная высота
ветроэнергетических
установок (метры)

52%

Увеличение
энергии

Прирост энергии на
высоте 20 м по
сравнению с 10 м

Исследования показывают, что в некоторых регионах страны среднегодовые скорости ветра достигают хороших показателей для эффективной генерации электроэнергии. Внедрение современных методов измерения и обработки данных позволит максимально использовать природный потенциал ветра.

Методика исследования ветровой энергии

Лаборатория Sandia и фирмы GE и Lockheed используют различные подходы для оценки ветроэнергетических ресурсов. Методы основаны на частотных характеристиках распределения скорости ветра и данных специально отобранных метеостанций.

01

Сбор данных

Метеостанции и анемометры на разных высотах. Минимальный период наблюдений — 6 лет

02

Отбор станций

Исключение станций с ограниченными данными (менее 3 классов скорости или менее 4000 наблюдений в месяц)

03

Обработка данных

Длительные наблюдения для учета сезонности. Определение среднего и максимального ветра

04

Расчет энергии

Использование частотных распределений и средней скорости для каждого класса

 **Важно:** Фирма GE установила, что значение энергии ветра, рассчитанное по средней скорости в каждом классе, больше на 3,2-10,5% по сравнению с расчетом по индивидуальным ежечасным измерениям.

Ключевые факторы оценки ветровой энергии

Высота анемометра

Приведение измерений к стандартной высоте 10 м, затем экстраполяция до 50-100 м. Использование степенного закона с показателем 0,2 или 1/7

Плотность атмосферы

Изменение плотности в зависимости от высоты местности. Пренебрежение этим фактором приводит к завышению энергии более чем на 9% на каждый 1 км подъема

Данные радиозонда

Измерения на высоте 150 м для оценки и экстраполяции на высоту 50 м. Учет суточных вариаций скорости ветра

Горные вершины

Энергия у вершин может превышать энергию свободного потока. Примеры: 1000 Вт/м² в Вашингтоне, 2000 Вт/м² в Нью-Гемпшире



Вопросы для самопроверки и Рекомендуемая литература

Контрольные вопросы

1. В чем заключается порядок проведения замера ветровой энергии в лаборатории Sandia?

Процесс включает многолетний сбор данных с метеостанций на разных высотах, отбор станций с достаточным объемом информации и последующую обработку данных для учета сезонности и точного расчета энергии.

2. Что дают полученные характеристики ветра для перспективы развития ВЭС?

Детальные ветровые характеристики позволяют точно прогнозировать выработку энергии, оптимизировать расположение ветроэнергетических установок и значительно повысить их эффективность и рентабельность.

Список литературы

- Джон Твайделл, Тони Вейр. Возобновляемые источники энергии. М.: Энергоатомиздат, 1986.
- Гаррисон П.П. Ветроэнергетика. М.: Мир, 1980.
- Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981.
- И.Т. Кобзарь. Ветроэлектрические станции. Алматы, 2004.