КУРС • 10 ЛЕКЦИЙ

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

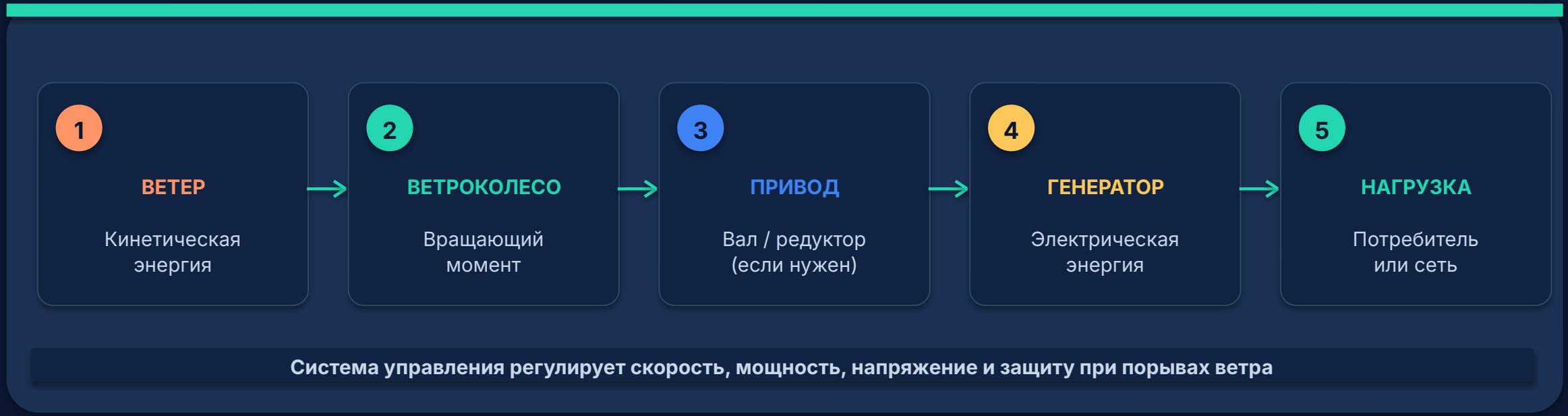
ЛЕКЦИЯ 07

Ветроэлектростанции



Как устроена ветроэлектростанция?

От кинетической энергии воздушного потока до электроэнергии с заданными параметрами.



7.1 Устройство ВЭС

Ротор • ориентация на ветер • генератор

7.2 Расчёт системных ВЭС

Режимы ветра • момент • годовая выработка

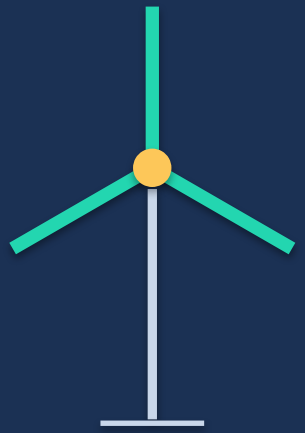
Почему распространены пропеллерные ВЭУ?

Горизонтальная ось и аэродинамическая подъёмная сила обеспечивают эффективное преобразование энергии.



ДВУХЛОПАСТНАЯ

Меньше масса ротора, возможна более высокая частота вращения



ТРЁХЛОПАСТНАЯ

Более равномерная работа и распространённая промышленная компоновка

ПРИЧИНЫ ВЫБОРА

1. **Эффективность**

   Высокий коэффициент использования ветра

2. **Скорость вращения**

   Возможность рационального привода генератора

3. **Высота башни**

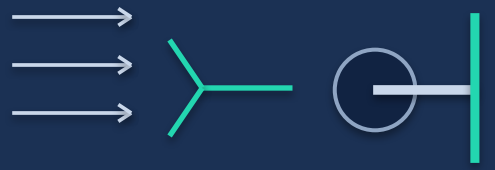
   Лучшие условия обтекания на высоте

Сравнение — по качественным положениям раздела 7.1 исходной лекции; конкретный выбор зависит от проекта.

Три способа ориентации ротора на ветер

Чтобы получать максимальную мощность, плоскость ветроколеса должна быть ориентирована к потоку.

ФЛЮГЕР



Направление задаёт хвостовое оперение

Простота; при резкой смене ветра возникают гироскопические нагрузки

САМОУСТАНОВКА

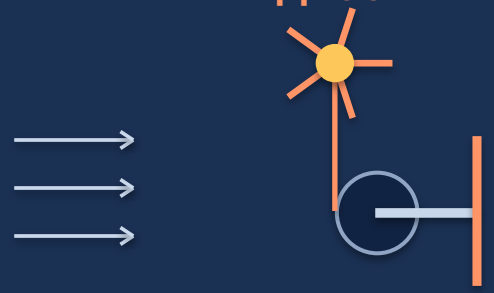


ротор позади башни

Ротор расположен за башней

Меньше узлов управления; след башни создаёт переменные нагрузки

ВИНДРОЗА



Вспомогательное ветроколесо поворачивает систему

Надёжная механическая ориентация; усложнение конструкции

Исторические механические способы из рис. 7.1 лекции; для современных крупных турбин используются также управляемые приводы рыскания.

Генератор: как связаны обороты и частота?

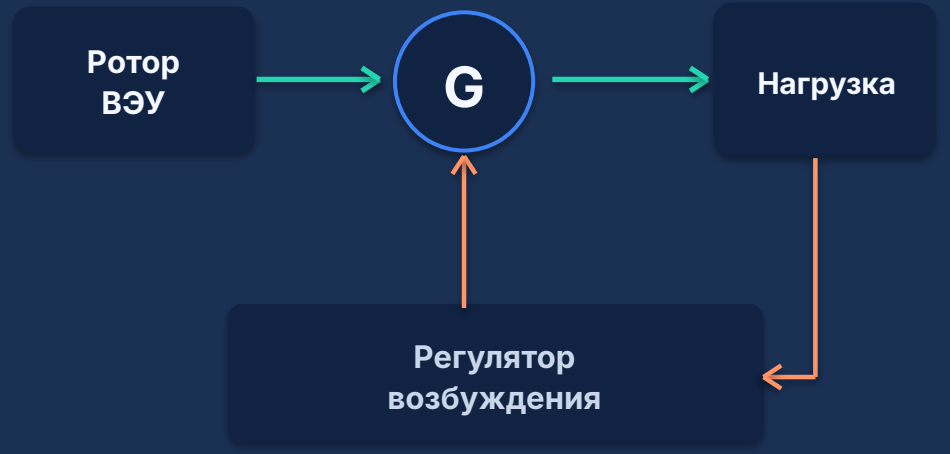
В классической синхронной машине частота переменного тока определяется скоростью ротора и числом пар полюсов.

$$f = (p \cdot n) / 60$$

f	Частота электрического тока, Гц
p	Число пар полюсов генератора
n	Частота вращения, об/мин

ПРИМЕР: p = 2; n = 1500 об/мин → f = 50 Гц

СХЕМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ



Для работы в составе сети требуется согласование параметров

Формула (7.1) источника. Учебная схема отражает принцип синхронной генерации и регулирования возбуждения.

Момент инерции сглаживает порывы ветра

Избыточный аэродинамический момент изменяет скорость ротора не мгновенно.

$$J \cdot d\omega/dt = M_в - M_с$$

Мв > Мс — **Разгон**

Угловая скорость растёт

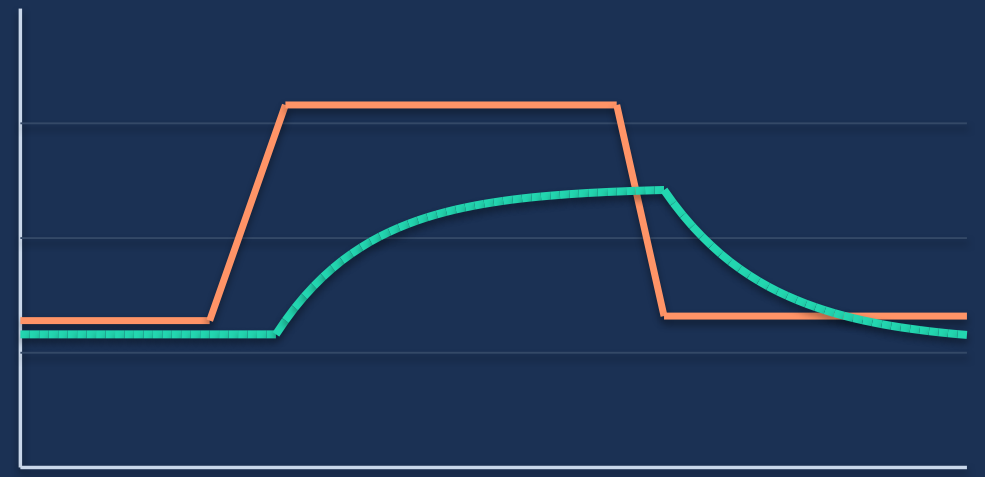
Мв = Мс — **Равновесие**

Скорость постоянна

Мв < Мс — **Замедление**

Ротор теряет скорость

СХЕМАТИЧНАЯ РЕАКЦИЯ НА ПОРЫВ



Момент ветра

Угловая скорость

J — момент инерции (кг·м²); Мв и Мс — моменты (Н·м); ω — угловая скорость (рад/с).

Защита от порывов: время на регулирование

Время достижения предельной скорости зависит от момента инерции и избытка вращающего момента.

УЧЕБНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ

$$t \approx J \cdot \Delta\omega / \Delta M$$



ПРИМЕР ИЗ ЛЕКЦИИ

не менее 10 с

ВЭУ до 10 кВт, vраб = 5,5 м/с

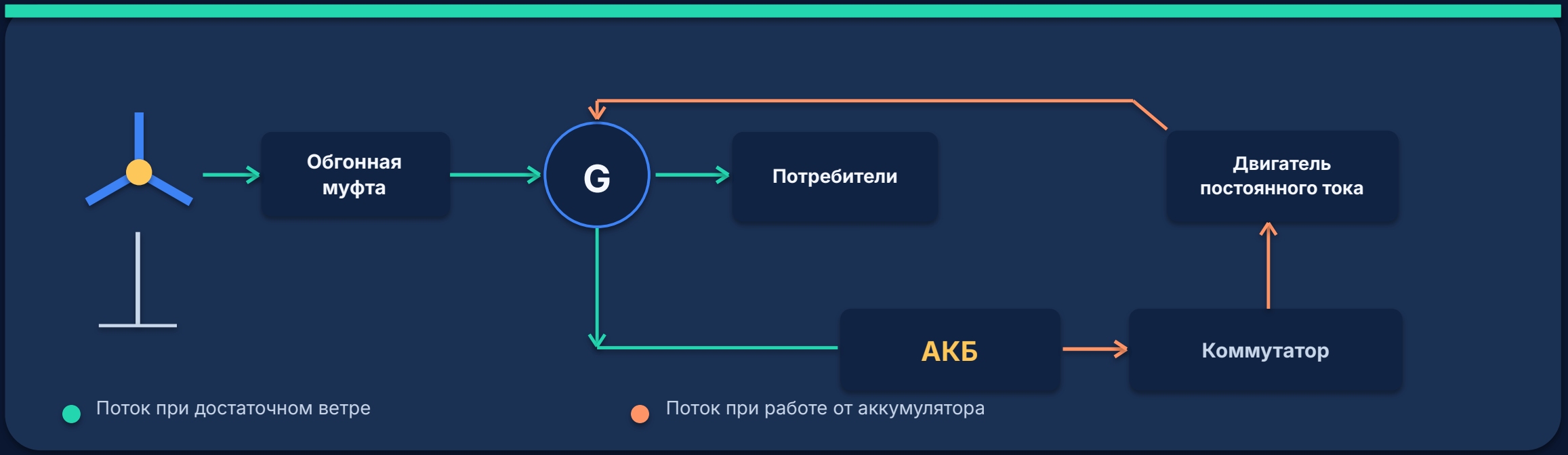
ДЛЯ ЧЕГО ЭТО ВРЕМЯ?

- Изменить угол установки лопастей
- Уменьшить аэродинамическую мощность
- Не допустить превышения оборотов

Зависимость дана для иллюстрации при приблизительно постоянном ΔM; численное время определяется конструкцией ВЭУ.

Автономная ВЭС: питание даже в штиль

Схема из лекции использует аккумуляторы и двигатель постоянного тока для поддержания вращения генератора.



ЕСТЬ ВЕТЕР

Ветроколесо вращает генератор; аккумулятор заряжается

ШТИЛЬ

АКБ питает ДПТ, который вращает синхронный генератор

Функциональная схема соответствует рис. 7.4 исходной лекции. Это одна из возможных, не универсальная архитектура автономной ВЭС.

РАЗДЕЛ 7.2

Системная ВЭС: расчёт по годовой выработке

Для подключения к сети важна суммарная энергия за год, а не только максимальная мощность ротора.

ТИПОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОЩНОСТИ



$$E_{год} \approx \Sigma P(v_i) \cdot \Delta t_i$$

НОМИНАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ

После vном мощность ограничивается системой управления

КЛЮЧЕВОЙ ВЫБОР

Номинальная скорость выбирается с учётом местного распределения ветра

График схематичный, без привязки к модели турбины; Eгод — интеграл выработки по режимам ветра.

ИТОГИ

Что важно запомнить о ветроэлектростанциях?

Устройство, динамика и расчёт ВЭС объединяются задачей надёжного и экономичного электроснабжения.

КЛЮЧЕВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Ротор	Преобразует энергию ветра во вращение
Ориентация	Согласует положение ротора с ветром
$f = pn/60$	Связывает скорость генератора и частоту
$J \cdot d\omega/dt$	Объясняет реакцию на порыв ветра
Егод	Критерий расчёта системной ВЭС

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ

1. Зачем ветроколесу механизм ориентации на ветер?
2. Как число пар полюсов влияет на частоту генератора?
3. Почему порыв не мгновенно увеличивает обороты?
4. Чем отличаются задачи автономной и системной ВЭС?
5. Почему мощность выше номинальной не возрастает?

Основа презентации: Лекция 7 «Ветроэлектростанции», разделы 7.1–7.2.