



ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Задание для расчета (около 60 минут)

ВОЗРАСТНАЯ ГРУППА

Гимназия

СВЯЗЬ С ПРЕДМЕТАМИ

- Физика

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

- Учащийся:
- понимает технологию использования энергии ветра;
 - знает, как использовать анализ единиц измерения для выявления физических связей (например, закон Беца);
 - знает, как переводить единицы измерения и рассчитывать изменение скорости ветра с высотой.

ЦЕЛЬ

Цель – углубить понимание учащимися энергии ветра и ее практического применения в физике. Идея последнего вопроса заключается в том, чтобы дать открытое задание, в котором учащиеся могут представить аргументы, основанные на их расчетах и других соответствующих фактах.

ОПИСАНИЕ ЗАДАНИЯ

Если сравнить карты с электрическими и дизельными автомобилями, то электромобили кажутся более безопасными для климата. Однако это зависит от того, как производится электроэнергия, используемая для электромобилей, а в разных странах это различается. Электроэнергия может вырабатываться с помощью гидроэлектростанций, ядерных электростанций, ветра или ископаемых видов топлива, таких как уголь или природный газ.

В настоящее время энергия ветра покрывает около 17% потребностей Европы в электроэнергии, а в некоторых странах даже значительно больше (*Wind Europe*). Ветроэнергетика получает все большее развитие и, скорее всего, ее доля будет расти и дальше.

В этом задании мы рассмотрим, как работает энергия ветра и что нужно для того, чтобы заменить атомную энергию энергией ветра.

Внимание! Чтобы упростить задание, учащимся можно дать все значения, необходимые для вычислений.



Закон Беца – это основополагающий принцип технологии ветроэнергетики. Согласно нему, максимальная энергия ветряной турбины составляет 16/27 (или около 59%) от энергии воздуха, проходящего через турбину:

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v^3}{2}$$

P – максимальная мощность [ватт], которую может выдать ветряная турбина, ρ [ро; кг/м³] – плотность воздуха, r [м] – радиус турбины (т. е. длина лопастей ротора), а v [м/с] – скорость ветра на высоте лопастей.

Скорость ветра v меняется на разной высоте от уровня земли. Прогнозы погоды обычно указывают скорость ветра на высоте 10 метров, но ветряные турбины расположены гораздо выше. Приблизительное значение скорости ветра на высоте h метров над уровнем земли можно получить из уравнения:

$$v = v(h) = v(10) \cdot \left(\frac{h}{10}\right)^{0,16}$$

где $v(10)$ – скорость ветра на высоте 10 метров над землей.

- С помощью анализа единиц измерения проверьте, что левая и правая части закона Беца имеют одинаковые единицы измерения.
- Рассчитайте по вышеприведенной формуле скорость ветра на высоте 50 метров над землей. Предположим, $v(10) = 15$, что означает, что скорость ветра на высоте 10 метров равна 15 м/с.
- Рассчитайте теоретическую максимальную мощность ветряной турбины. Найдите необходимые для расчета значения или сделайте разумные предположения. Выберите самостоятельно, какую мощность вы рассчитываете – мощность малой, средней или большой ветряной турбины. Убедитесь, что в результате правильная единица измерения!
- Оцените, сколько ветряных турбин необходимо для замены атомной электростанции. Найдите необходимые для расчета значения или сделайте разумные предположения.
- Типичная ветряная турбина среднего размера производит около 5,1 ГВт·ч в год. Как это соотносится со значением, рассчитанным в пункте (с)? Подумайте, почему эти значения могут быть разными, и рассчитайте, сколько ветряных турбин потребуется для замены атомной электростанции, если все ветряные турбины будут производить 5,1 ГВт·ч в год.
- Использование ядерной энергии уже давно является спорным вопросом. Подумайте сами и постарайтесь как можно подробнее ответить на следующие вопросы. Каковы преимущества и недостатки атомной и ветряной энергии? Почему сложно полностью заменить атомную энергию энергией ветра?



РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕШЕНИЯ

а. Анализ единиц измерения переменных в законе Беца:

- P – мощность, измеряемая в ваттах (Вт).
- ρ – плотность воздуха, измеряемая в килограммах на кубический метр ($\text{кг}/\text{м}^3$).
- r – радиус, измеряемый в метрах (м). Радиус – это расстояние от центра пропеллера ветрогенератора до края лопасти.
- v – скорость ветра, измеряемая в метрах в секунду (м/с).

Левая часть закона Беца выражается в ваттах (Вт). В правой части закона Беца стоят единицы Дж/с (джоули в секунду), которые обозначаются следующим образом:

$$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2 \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^3 = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}^3}{\text{м}^3 \cdot \text{с}^3} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$$

Это связано с тем, что джоуль является производной единицей СИ, которая также может быть выражена как: $\text{Дж} = \text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$. Таким образом, левая и правая части имеют одинаковые единицы измерения, потому что $\text{Вт} = \text{Дж}/\text{с}$.

б.
$$v(50) = 15 \cdot \left(\frac{50}{10}\right)^{0,16} \approx 19,4 \text{ м/с}$$

Расчет показывает, что если скорость ветра на высоте 10 м составляет 15 м/с, то скорость ветра на высоте 50 м будет чуть больше 19 м/с.

- в. Ветряные турбины среднего размера для коммерческого применения обычно имеют лопасти с радиусом 20–60 метров. Радиус лопастей самых мощных ветряных турбин, используемых на крупных ветряных электростанциях, может превышать 100 метров. Предположим, что высота (h) ветряной турбины составляет 150 м, радиус (r) – 50 м, а $v(10)$ – 15 м/с.

Сначала рассчитывают скорость ветра на высоте 150 метров:

$$v(150) = 15 \cdot \left(\frac{150}{10}\right)^{0,16} \approx 23,1 \text{ м/с}$$

Затем по закону Беца рассчитывают теоретическую максимальную мощность. Плотность воздуха составляет около $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$.

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{1,2 \cdot \pi \cdot 50^2 \cdot 23,1^3}{2} \approx 34,4 \text{ MW}$$



- г. Выработка энергии на атомной электростанции зависит от ряда факторов, включая тип реактора, его мощность, время работы и эффективность. Здесь мы предполагаем, что атомная электростанция производит 7 ТВт·ч в год (или 7000 ГВт·ч в год), что является типичным значением для крупных атомных электростанций.

Теоретическая максимальная выработка электроэнергии (E) ветряной турбиной за год рассчитывается путем умножения теоретической максимальной мощности (P) на время (t) в часах в год:

$$E = P \cdot t = 34,4 \text{ МВт} \times 24 \text{ часов в день} \times 365 \text{ дней в году} \approx 301 \text{ ГВт} \cdot \text{ч в год}$$

Затем рассчитывается количество ветряных турбин, необходимых для замены атомной электростанции:

$$\text{Количество ветряных турбин} = \frac{7000 \text{ ГВт} \cdot \text{ч/год}}{301 \text{ ГВт} \cdot \text{ч/год}} \approx 23$$

Расчет показывает, что для замены атомной электростанции, производящей 7 ТВт·ч в год, необходимо 23 ветряных турбины.

- д. Расчетное значение (301 ГВт·ч в год) значительно превышает среднее значение для реальных ветряных турбин (5,1 ГВт·ч в год). Отчасти это объясняется тем, что скорость ветра не всегда достаточно высока для достижения максимальной эффективности, а отчасти тем, что мы пренебрегли всеми потерями на трение.

Если все ветряные турбины производят 5,1 ГВт·ч в год, мы можем рассчитать количество ветряных турбин, необходимых для замены атомной электростанции, следующим образом.

$$\text{Количество ветряных турбин} = \frac{7000 \text{ ГВт} \cdot \text{ч/год}}{5,1 \text{ ГВт} \cdot \text{ч/год}} \approx 1372$$

- е. У атомной и ветряной энергии есть свои плюсы и минусы. Хотя ветряная энергия является экологически чистой, ее выработка зависит от ветра, что создает проблемы с надежностью поставок. Для того, чтобы избежать потерь при передаче, необходимо немедленное потребление или хранение, соответствующее спросу. Атомная энергия экологически чистая, но строительство атомных электростанций обходится дорого, а также создает проблемы с безопасностью и утилизацией отходов.

Полностью заменить атомную энергию энергией ветра сложно. Из-за нестабильности ветра для обеспечения надежности поставок необходимо использовать дополнительные источники энергии, такие как гидроэлектростанции. Непредсказуемость ветра затрудняет управление электросетью. Атомная энергия обеспечивает стабильное и непрерывное энергоснабжение. Переход потребует модернизации инфраструктуры и инвестиций в технологии хранения энергии.