

Оценка эффективности применения ветрогенератора для табунных хозяйств Кобяйского наслега

Павлов А., Харламповцев П.

*11-й университетский физмат-класс, МБОУ “Кобяйская СОШ имени Е.Е.
Эверстова”, с. Кобяй, Республики Саха (Якутия)*

*Руководитель: Иванова А.А. МБОУ “Кобяйская СОШ имени Е.Е.
Эверстова”, с. Кобяй, Республики Саха (Якутия)*

*Консультант: Местников А.Е, д.т.н., профессор, Северо-Восточный
федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск*

Введение.

Актуальность.

Одним из перспективных направлений альтернативной энергетики является использование энергии ветра для получения электричества с помощью ветрогенераторов [1, 2]. Представляется, что ветрогенераторы малой мощности могут быть востребованными для табунных хозяйств на дальних пастбищах Кобяйского наслега Республики Саха (Якутия), где нет электричества.

Цель: расширить знания по физике и обосновать эффективность использования ветрогенератора для конкретного потребителя.

Задачи исследования:

1. Изучить особенности работы и технические характеристики ветрогенератора на основе лего-модели.
2. Обосновать эффективность использования ветрогенератора малой мощности для конкретного потребителя.

Объект исследования: энергия ветра.

Предмет исследования: ветрогенераторы малой мощности.

Гипотеза (идея) исследования: показать эффективность использования ветрогенератора малой мощности для табунных хозяйств Кобяйского наслега.

Методы исследования: анализ, наблюдение, эксперимент, решение физических задач.

Суть моей учебно-исследовательской работы составляет технико-экономическое обоснование эффективности применения ветрогенератора малой мощности в суровых условиях Якутии на примере обеспечения электроэнергией табунных хозяйств Кобяйского наслега, где нет электричества.

Результаты работы могут быть использованы в учебном процессе и практических рекомендациях для табунных хозяйств Якутии.

Основные результаты и обсуждение.

Эксперимент 1. Изучение воль-амперных характеристик ветрогенератора.

Для создания модели ветрогенератора, использовал специальный набор конструктора Lego Mindstorms education EV3 9688.

Оборудование и комплектующие: лего-ветрогенератор, мотор-генератор, мультиметр с программным управлением, секундомер, соединительные провода, электровентилятор на 40 Вт.

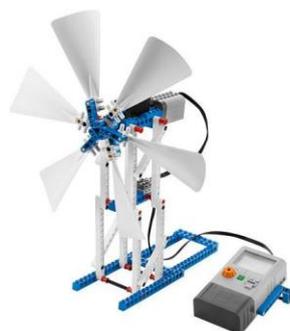


Рис. 1 - Лего-ветрогенератор и схема проведения эксперимента

Ход выполнения работы:

1) По инструкции собрал ветрогенератор. Использовал программу, которая позволяла ветрогенератору вырабатывать электричество.

2) Установил вентилятор на одной оси с турбиной так, чтобы его центр находился напротив центра турбины и расстояние между ними равнялось 20 см, 40 см, 60 см.

3) Подобрал вентилятор с такой мощностью, чтобы при вращении турбины показание лево-мультиметра на входе превышало 2,0 В. Мощность вентилятора должна быть не более 40 Вт.

4) Выбрал такую схему размещения ветро-турбины, при которой лево-мультиметр показывает максимальное значение мощности генератора.

5) При необходимости можно облегчить запуск турбины плавно провернув лопасти.

6) Показания вольт-амперной характеристики ветрогенератора записал в табл. 1.

Табл. 1 - Вольт-амперные характеристики лево-ветрогенератора

| № опыта | Расстояние, м | Напряжение, В | Ср. значение, В | Сила тока, А | Ср. значение, А | Накопленная энергия, Дж | Ср. значение, Дж |
|---------|---------------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| 1 | 0,2 | 2,5 | 2,4 | 0,066 | 0,064 | 32 | 31 |
| 2 | | 2,4 | | 0,064 | | 31 | |
| 3 | | 2,3 | | 0,063 | | 30 | |
| 4 | 0,4 | 2,1 | 2,1 | 0,040 | 0,035 | 14 | 13 |
| 5 | | 2,1 | | 0,035 | | 14 | |
| 6 | | 2,1 | | 0,030 | | 12 | |
| 7 | 0,6 | 2,1 | 2,0 | 0,010 | 0,009 | 4 | 3 |
| 8 | | 2,0 | | 0,009 | | 3 | |
| 9 | | 2,0 | | 0,008 | | 3 | |

Максимальный заряд аккумулятора составил 31 Дж. Время полной разрядки аккумулятора для вращения лопастей ветрогенератора составило 46,5 секунд.

Вывод: полезная мощность, затраченная на работу электродвигателя по экспериментальным данным, составляет $N_{\text{пол}} = E_{\text{накоп}} / t = 31 : 46,5 = [\text{Дж/с}] = 0,67 \text{ Вт}$.

Задача 1. Определение коэффициента полезного действия ветрогенератора.

С физической точки зрения энергия ветра, проходящей через площадь S определяется по формуле:

$$E_{\text{ветра}} = \rho \times S \times t \times V^3 / 2, \quad (1)$$

где ρ - плотность воздушной массы, S - общая обдуваемая площадь лопастей винта, V - скорость воздушного потока от вентилятора (ветра), t - время.

Используя понятие мощности, т.е. работу в единицу времени, в формуле 1 исключаем время и получаем формулу для определения мощности воздушного потока от вентилятора $N_{\text{вент}}$:

$$N_{\text{вент}} = \rho \times S \times V^3 / 2, \quad (2)$$

Учитывая, что обдуваемая площадь лопастей ветрогенератора равна $S = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,135^2 = 0,057 \text{ м}^2$ (диаметр лопастей равен 27 см = 0,27 м) и плотность воздуха $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ находим по формуле 2 значения мощности ветра при разных скоростях и заносим в табл. 2.

Табл. 2 - Зависимость мощности потока воздуха от скорости ветра

| V, м/с | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------|-------|------|-------|------|------|-------------|------|-------|-------|------|
| $N_{\text{вент}}$, Вт | 0,035 | 0,28 | 0,945 | 2,24 | 4,48 | 7,56 | 12,0 | 17,92 | 25,51 | 35,0 |

Известно, что коэффициент полезного действия (КПД) ветрогенератора определяется отношением полезной мощности $N_{\text{пол}}$ на мощность ветра $N_{\text{ветра}}$, приводящей лопасти к вращению:

$$\text{КПД} = N_{\text{пол}} \times 100 / N_{\text{вент}}, (\%), \quad (3)$$

где $N_{\text{пол}} = 0,67$ Вт - полезная мощность, затраченная на работу электродвигателя по экспериментальным данным. При максимальной скорости воздушного потока от вентилятора 6 м/с КПД будет равно:

$$\text{КПД} = 0,67 \times 100 / 7,56 = 0,67 / 7,56 = 8,9 \%$$

Вывод: Расчетно-экспериментальное значение КПД ветрогенератора при скорости воздушного потока 6 м/с составляет 8,9 %.

Задача 2. Расчетное обоснование выбора ветрогенератора для климатических условий Кобяйского наслега.

Табунные хозяйства (разведение лошадей) находятся далеко от жилых поселений в отдаленных пастбищах, где нет электричества. Для своих нужд, даже для обычной зарядки телефонов, с собой берут мобильный электрогенератор и бензин. Для обеспечения круглогодичной минимальной комфортности жилья необходимы, в первую очередь, свет и связь, что может обеспечить наличие электричества от ветрогенератора малой мощности 0,5 кВт. Например, отечественный вертикально-осевой ветрогенератор Альэн-500 [3] (табл. 3).

Табл. 3 - Технические характеристики ветрогенератора Альэн-500

| Параметры | Единица измерения | Показатели |
|--|-------------------|------------|
| Диаметр ветротурбины × высота лопасти | м | 1,8 × 2 |
| Количество лопастей | шт | 3 |
| Высота мачты | м | 3,5 |
| Масса ВЭС без мачты | кг | 160 |
| Мощность номинальная | Вт | 500 |
| Скорость ветра: | м/с | |
| - стартовая | | 1,7-2 |
| - номинальная | | 7 |
| - рабочая скорость | | 3-20 |
| Коэффициент использования энергии ветра | | ≥ 0,42 |
| Тип генератора 3-хфазный, ток переменный | | |
| Выходное напряжение инвертора | В | 220/380 |
| Ток номинальный | А | 50 |
| Ток максимальный | А | 60 |
| Емкость АКБ | А×ч | 150 |
| Эффективность системы преобразования | | ≥ 0,85 |
| Уровень шума | Дб, не более | 33 |

| | | |
|-------------|-----|----|
| Срок службы | лет | 20 |
|-------------|-----|----|

В базовый комплект входят: мачта, генератор, ротор, лопасти, закладные элементы, контроллер. Аккумуляторы и инвертор в базовый комплект не входят, подбираются по тех заданию, так как для различных ветровых условий и электрических нагрузок на одну и ту же модель ветроэлектростанции возможна установка разных по мощности инверторов и различного количества аккумуляторов.

Для монтажа в зимнее время станции комплектуются винтовыми сваями, что существенно облегчает их установку (время монтажа составляет 1 день без использования бетона.)

Для обоснования подходящей мощности ветрогенератора для ветровых условий Кобяйского наслега произведем расчет вырабатываемой мощности рассматриваемого ветрогенератора (табл. 3) в зависимости от скорости ветра. Среднегодовая скорость ветра в с. Кобяй по многолетним данным составляет $V_{cp} = 4,2-5,6$ м/с [4] (рис. 2).

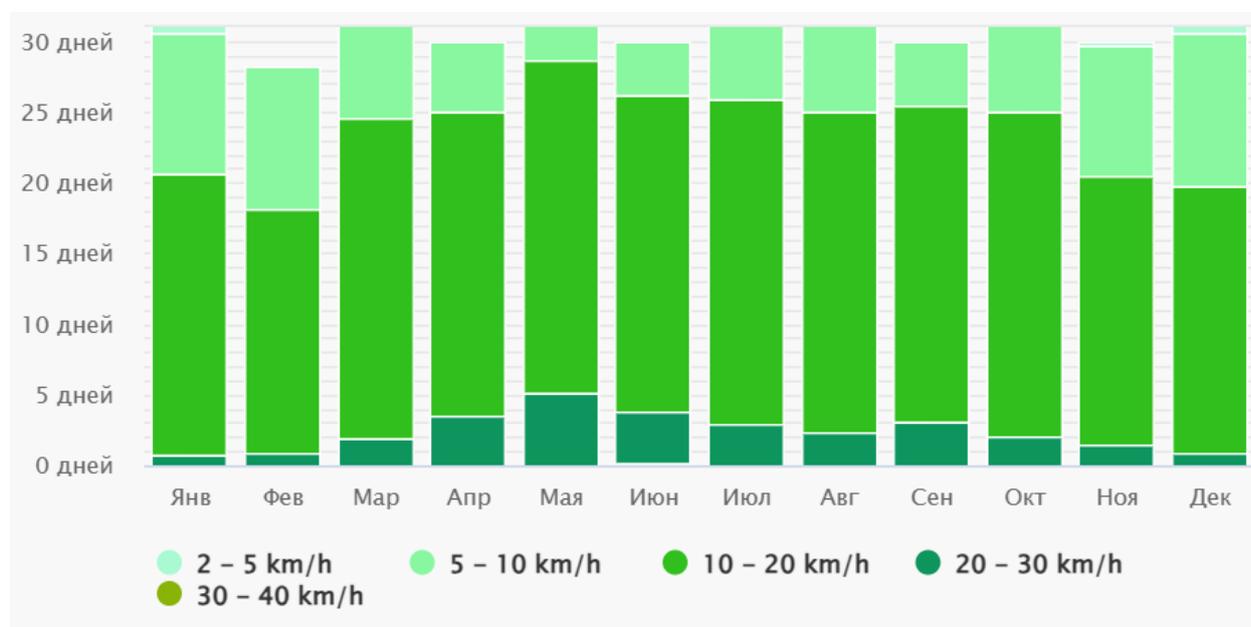


Рис. 2 - Изменение скорости ветра в течение года в с. Кобяй

Воспользуемся формулой определения мощности:

$$N = 1/2 \times \rho \times S \times V^3 \times k, \text{ где}$$

$\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха при нормальных условиях;

$V_{\text{мин}} = 4,2 \text{ м/с}$ - минимальная скорость ветра (метеоданные);

$V_{\text{макс}} = 5,6 \text{ м/с}$ - максимальная скорость ветра (метеоданные);

$V_{\text{ном}} = 7 \text{ м/с}$ - номинальная скорость ветра (из табл. 3);

$S = 1,8 \times 2 = 3,6 \text{ м}^2$ - площадь потока воздуха через лопасти;

$k = 0,42$ - коэффициент использования энергии ветра (из табл. 3).

Рассчитаем мощность ветрогенератора при минимальном, максимальном и номинальном значениях скорости ветра с. Кобяй:

$$N_{\text{мин}} = 1/2 \times 1,225 \times (2 \times 1,8) \times 4,2^3 \times 0,42 = 79,1 \text{ Вт},$$

$$N_{\text{макс}} = 1/2 \times 1,225 \times (2 \times 1,8) \times 5,6^3 \times 0,42 = 162,6 \text{ Вт},$$

$$N_{\text{ср}} = (N_{\text{мин}} + N_{\text{макс}}) / 2 = 120,08 \text{ Вт} = 0,12 \text{ кВт}.$$

$$N_{\text{ном}} = 1/2 \times 1,225 \times (2 \times 1,8) \times 7^3 \times 0,42 = 317,7 \text{ Вт}.$$

Выводы:

1) Следует считать, что вырабатываемая ветрогенератором энергия в 79,1-162,6 Вт будет достаточно только для освещения и зарядки электронных устройств и аккумуляторов;

2) Средняя выработка электроэнергии в 1 час составит 24 % от номинальной мощности 0,5 кВт: $(0,12 \text{ кВт} \times 100 \%) / 0,5 \text{ кВт} = 24 \%$.

Задача 3. Расчет окупаемости ветрогенератора.

Исходные данные: возьмем ветрогенератор Альэн-500 с номинальной мощностью 0,5 кВт. По расчетным данным для климатических условий с. Кобяй в среднем за год он может дать 24% от своей мощности при скорости ветра 4,2-5,6 м/с. Срок службы устройства - 20 лет. Ориентировочная стоимость ветрогенератора без комплекта - 90000 рублей.

За 1 час ветрогенератор вырабатывает:

$$N_{\text{пол}} = 0,5 \times 0,24 = 0,12 \text{ кВт} - \text{вырабатываемая полезная мощность};$$

За 1 день:

$$0,12 \times 24 \text{ часа} = 2,88 \text{ кВт}$$

За 1 год:

$2,88 \times 365 \text{ дней} = 1051,2 \text{ кВт}$

За весь срок службы

$1051,2^{**} \times 20 \text{ лет} = 21024 \text{ кВт}$

Делим стоимость ветрогенератора на получившееся число:

$95000 / 21024 = 4,28 \text{ рублей/кВт.}$

Соответственно, ветрогенератор действительно является выгодным приобретением, даже если у вас есть другие источники электроэнергии, т.к. в сельской местности стоимость 1 кВт электроэнергии на 2025 г. составляет 6,01 рублей.

Рассчитаем срок окупаемости ветрогенератора:

$$t_{\text{ок}} = D_{\text{в}} / (t \times N_{\text{пол}} \times D_1),$$

где $D_{\text{в}} = 90000$ рублей - стоимость ветрогенератора Альэн-500;

$D_1 = 6,01$ рубль - стоимость 1 кВт \times ч электроэнергии в с. Кобяй;

$N_{\text{ном}} = 0,12$ кВт - расчетная полезная мощность ветрогенератора;

$t = 24$ часа (сутки);

$t_{\text{ок}} = 90000 / (24 \times 0,12 \times 6,1) = 5123 \text{ суток} = 14 \text{ лет.}$

Выводы:

1) Стоимость 1 кВт от ветрогенератора Альэн-500 составляет 4,28 рубля, что дешевле на 29 % от стоимости электроэнергии центральных сетей (6,01 рублей);.

2) Срок окупаемости ветрогенератора мощностью 500 Вт в условиях с. Кобяй составляет 14 лет.

Заключение

1) Приобрел новые знания и практические навыки проведения учебно-исследовательской работы.

2) При средней годовой скорости ветра 4,2-5,6 м/с Кобяйского наслеге выгодным может быть только использование ветрогенераторов малой мощности до 1 кВт (в нашем случае 0,5 кВт), где нет электричества:

- средняя выработка электроэнергии в 1 час составит 24 % от

номинальной мощности 0,5 кВт, что будет достаточно только для обеспечения светом, зарядки электронных устройств и накопления энергии в аккумуляторах;

- расчетная стоимость 1 кВт от ветрогенератора Альэн-500 составляет 4,28 рубля, что дешевле на 29 % от стоимости электроэнергии центральных сетей в селе Кобяй (6,01 рублей);.

- срок окупаемости ветрогенератора мощностью 0,5 кВт в условиях Кобяйского наслега составляет 14 лет.

Список использованной литературы:

1) Физические основы ветрогенераторов / ALTER220 Портал про альтернативную энергию. <https://dzen.ru/a/XvDykM20-nHrv7to>

2) Плоский ветрогенератор: сфера применения, типы и принцип работы / tcip.ru. Все об альтернативной энергетике.

<https://tcip.ru/blog/wind/printsip-raboty-i-oblast-primeneniya-ploskogo-vetrogeneratora.html>

3) Сайт компании “Альтернативная энергетика”. Ветрогенераторы Альэн. <https://www.alen-e.ru/>

4) Моделирование исторических данных о климате и погоде села Кобяй / www.meteoblue.com

https://www.meteoblue.com/ru/погода/historyclimate/climatemodelled/Кобяй_Россия_2021939