

Эффективность применения солнечной электростанции в летних домах - сайылык условиях Якутии

Иванов И., Потапов А.

*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 солнечной энергии для получения электричества с помощью фотоэлектрического преобразователя - солнечной панели. На наш взгляд, солнечные панели с максимальной выгодой могут быть использованы в летний период с высокой солнечной инсоляцией в летних домах - сайылык, где отсутствует электричество.

Цель: Изучить и обосновать эффективность использования солнечной электростанции в суровых условиях Якутии расчетно-экспериментальным методом.

Задачи исследования:

1. Изучить особенности работы и технические характеристики солнечной батареи на основе легион-модели [1].
2. Выбрать и обосновать эффективность применения автономной солнечной электростанции для летних домов - сайылык Якутии.

Объект исследования: энергия солнца.

Предмет исследования: солнечная электростанция.

Гипотеза (идея) исследования: использование автономной солнечной электростанции малой мощности в условиях Якутии может быть выгодным

в период летних дней с высокой солнечной инсоляцией.

Методы исследования

Основу нашей учебно-исследовательской работы составляет технико-экономическое обоснование эффективности применения автономной солнечной электростанции для обеспечения электроэнергией индивидуальных хозяйств в летних условиях Якутии с помощью методов физического моделирования, постановки экспериментов и решения задач.

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

Результаты и обсуждение

Эксперимент 1. Физическое моделирование влияния облачности на работу солнечной панели.

В основу постановки эксперимента заложен принцип влияния интенсивности солнечного излучения (освещенности) на выработку электроэнергии фотоэлектрическим преобразователем (ФЭП).

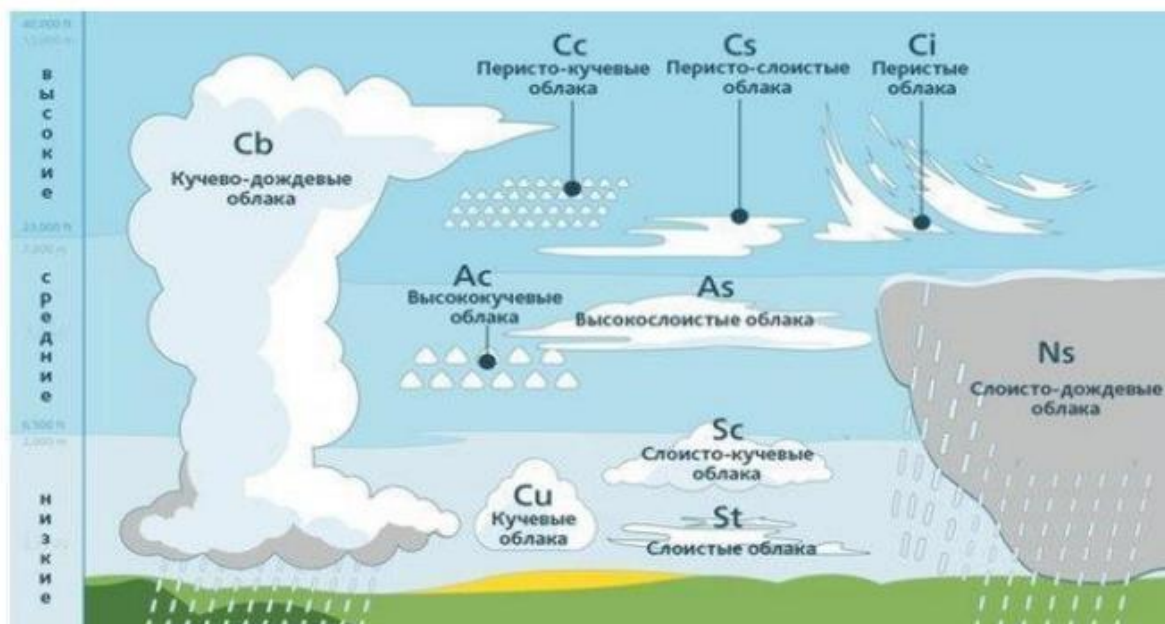


Рис. 1 - Изображения разных видов облачности [2]

Сущность физического моделирования состоит в том, что меняя положение солнечной панели относительно горизонта от 0 до 180 градусов, мы меняем освещенность лицевой части панели от 0 до 100 %, т.е.

моделируем погодные условия от солнечной погоды до разной облачности (рис. 1).

Принадлежности: лего-модель (рис. 2) солнечной электростанции (СЭС), состоящая из солнечной панели, мультиметра с программным управлением, аккумулятора энергии, электромоторчика.

Ход работы:

1. Установил солнечную панель в начальное положение.
2. Включил счетчик энергии зеленой кнопкой.
3. Запустил программу.
4. Зафиксировал количество энергии, накопленной при разной ориентации солнечной панели относительно горизонта (0, 45, 90, 135, 180 градусов, рис. 2).

5. Каждый опыт повторил по 3 раза и записал в табл. 1.

6. Разрядил накопленную энергию, поворачивая оранжевую шкалу. Измерил, как долго при этом вращается мотор (полезная работа, табл. 2).

7. Выполнил расчеты снижения генерирующей мощности в зависимости от интенсивности солнечного излучения (облачности) и коэффициента полезного действия ФЭП на основе собственных экспериментальных данных.



Рисунок 2 - Лего-модель солнечной электростанции

Таблица 1 - Количество накопленной энергии в зависимости от ориентации ФЭП (время зарядки 180 секунд)

Ориентация, градусов	Количество накопленной энергии, Вт			
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Ср. значение
0	16	16	17	16,33
45	34	38	40	37,33
90	5	4	6	5,00
135	3	3	2	2,67
180	2	2	1	1,67

Как видно из табл. 1 оптимальный угол наклона ФЭП составляет 45 градусов, когда солнечный лучи падают на панель вертикально. В зимних условиях с. Кобяй солнце высоко не поднимается.

Влияние интенсивности солнечного излучения (облачности) на снижение генерирующей мощности ФЭП определил на основе собственных экспериментальных данных, приведенных в табл. 1.

Снижение генерирующей мощности рассчитывается как разность между максимальным значением $W_{\text{макс}}$ и исходным показателем W_i накопленной энергии за равный промежуток времени t (180 секунд):

$$\Delta W = (W_{\text{макс}} - W_i) \times 100\% / W_{\text{макс}}$$

Результаты расчетов записываем в табл. 2.

Таблица 2 - Влияние интенсивности солнечного излучения от облачности на снижение генерирующей мощности ФЭП

Облачность (погода)	Снижение генерирующей мощности ФЭП, %			
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Ср. значение
Без облаков (чистое небо)	0	0	0	0
Средняя облачность	52,9	57,9	57,5	56,1
Пасмурная погода	85,3	89,5	85,0	86,6
Дождь	91,2	92,1	95,0	92,7
Дождь	94,1	94,7	97,0	95,3

Вывод: Выработка электроэнергии солнечной лего-батареи имеет сильную зависимость от освещенности и изменяется в широких пределах от 0 до 100 %.

Задача 1. Определение полезной выходной мощности солнечной лего-батареи.

Замерил время разрядки лего-батареи при включении электромоторчика и определил полезную выходную мощность аккумулированной энергии по формуле:

$$N_{п.э.} = W_{н.э.} / t ,$$

где t - время разрядки полностью заряженного аккумулятора, что составляет 100 Вт (табл. 3).

Таблица 3 - Полезная выходная мощность аккумулятора энергии

Параметры	1	2	3	Среднее значение
Накопленная энергия, Вт	100	100	100	37,33
Время разрядки, с	716	662	691	689,7
Полезная мощность, Вт	0,139	0,151	0,145	0,145

Вывод: Полезная мощность лего-батареи составляет 0,145 Вт.

Задача 2. Определение коэффициента полезного действия (к.п.д.) лего-батареи, заряженного от солнечного излучения.

Солнечная энергия, падающая на панель лего-батареи рассчитывается по формуле:

$$W_{с.э.} = K \times S_{п} \times t ,$$

где $W_{с.э.}$ - энергия, падающая на панель солнечной лего-батареи,

$K = 1,366 \times 10^3$ Вт/м² - солнечная постоянная,

$S_{п} = 7 \times 12 = 84$ см² = 0,0084 м² - площадь панели солнечной лего-батареи, $t = 180$ сек - время действия солнечного излучения, тогда:

$$W_{с.э.} = K \times S_{п} \times t = 1,366 \times 10^3 \times 0,0084 \times 180 = 2065,39 \text{ Дж.}$$

По экспериментальным данным из табл. 1 среднее значение максимального количества накопленной (полезной) энергии равно

$$W_{н.э.} = 34 + 38 + 40 / 3 = 37,33 \text{ Дж.}$$

По определению коэффициент полезного действия солнечной лего-батареи равно отношению накопленной (полезной) энергии на энергию от Солнца, падающей на панель солнечной лего-батареи определяется по формуле:

$$К.п.д. = W_{н.э.} \times 100 \% / W_{с.э.} = 37,33 \times 100 \% / 2065,39 = 1,8 \%$$

Вывод: Расчетное значение к.п.д. легио-батареи очень маленькое и составляет всего 1,8 %. Вероятнее всего, это связано с снижением солнечной инсоляции в зимнее время.

Задача 3. Расчетное обоснование выбора солнечной электростанции для климатических условиях села Кобяй с использованием онлайн-калькулятора компании “Технолайн” [3].

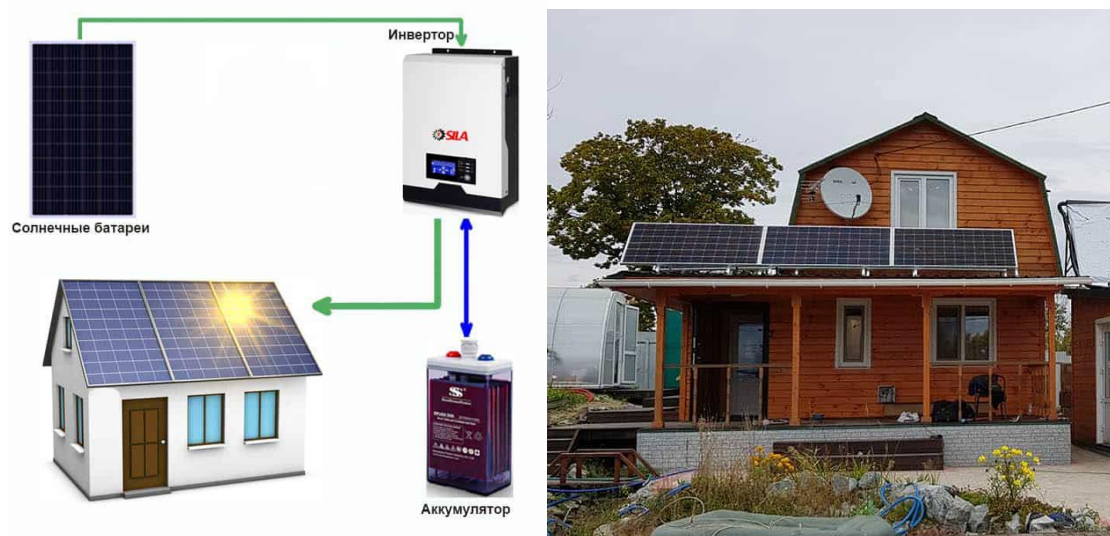


Рисунок 2 - Схема солнечной электростанции (СЭС): солнечные батареи, инвертор и аккумулятор

Летник-сайылык в условиях Якутии функционирует с конца мая до середины сентября месяца во время выгула скота на зеленых пастбищах, также выращивания овощей и растений. По многолетним метеоданным [4] самый высокий уровень солнечной инсоляции наблюдается с марта по сентябрь месяцы (рис. 3). График на рис. 3 указывает на количество солнечных, частично облачных и туманных дней, а также дней выпадения осадков. Дни, когда слой облаков не превышает 20%, считаются солнечными; 20-80% покрова считается частичной облачностью, а более чем 80% считается сплошной облачностью.

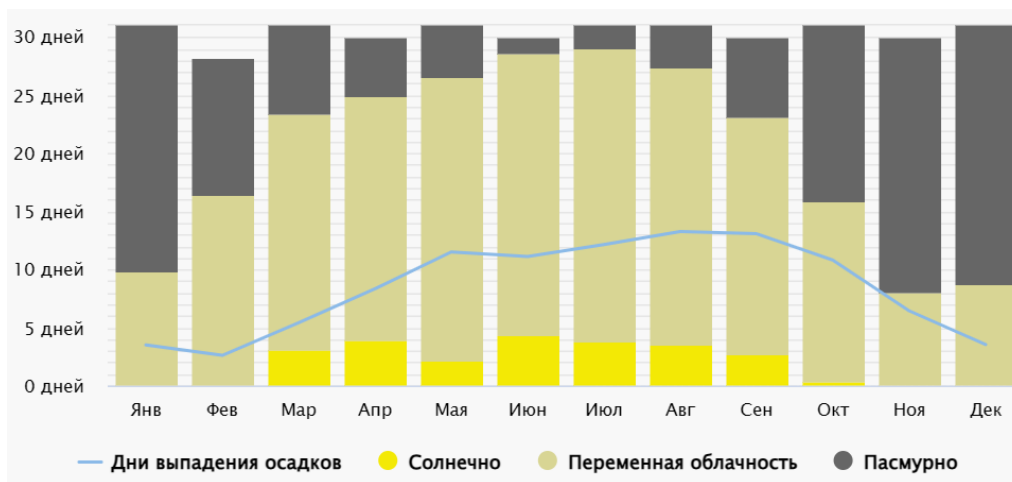


Рис. 3 - Метеоданные по солнечной инсоляции села Кобяй

Рассмотрим технические характеристики солнечной электростанции “Дача” с мощностью 1 кВт [3].

Табл. 4 - Технические характеристики СЭС “Дача” с мощностью до 1 кВт

Параметры	Единица измерения	Показатели
Максимальная мощность	Вт	1000
Максимальная выработка	кВт×ч/сутки	до 1
Выходное напряжение	В	220
Общая емкость АКБ	А×ч	1×75
Тип АКБ		не обслуживаемый
Срок службы АКБ	лет	8
Тип солнечных батарей	1	монокристаллический
Общая мощность	Вт	1×240
Срок службы	не менее лет	20
Площадь одной панели	м ²	1,2
Стоимость солнечной батареи	рублей	10500
Общий вес	кг	55
Стоимость солнечной электростанции на 27.02.2025 г.	рублей	47872

Для оценки выработки электрической энергии солнечными батареями и срока их окупаемости воспользуемся онлайн-калькулятором компании “Технолайн” [3]. Расчет начинается с ввода данных солнечной инсоляции села Кобяй, точность местоположения которого составляет 0,1 градуса долготы и широты. Рекомендуемый угол наклона солнечной панели составляет 64°. Для определения необходимой нагрузки для СЭС вводим данные используемого оборудования и приборов (табл. 5).

Табл. 5 - Калькулятор нагрузки СЭС

Прибор	Мощность×шт, Вт	Время работы, ч	Всего, кВт× сутки
Лампа	10×3=30	2	0,06
Насос	250	3	0,75
Компьютер	40	3	0,12
Другие	30	1	0,03
Итого			0,96

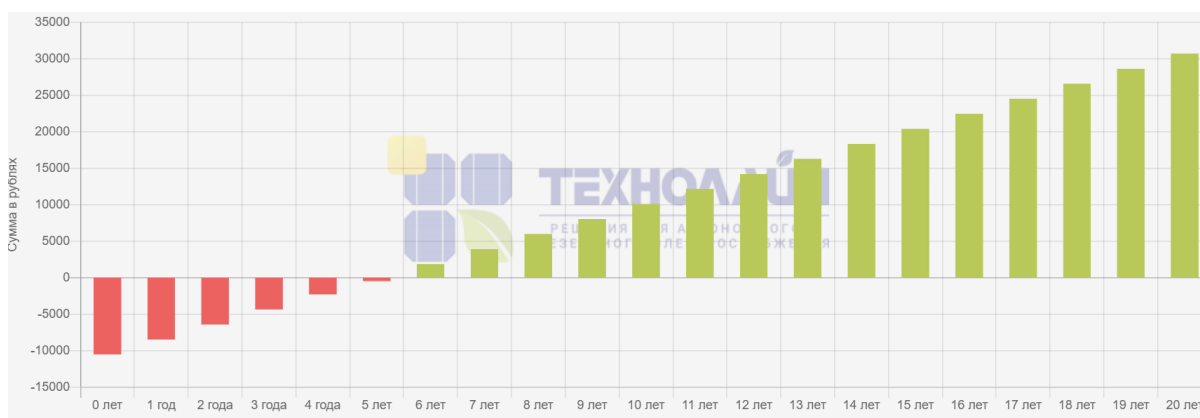


Рис. 4 - Диаграмма выработки электроэнергии по годам эксплуатации

Результаты онлайн-калькулятора:

- среднегодовая выработка электроэнергии составила 0,94 кВт×ч в сутки, суммарная выработка электроэнергии за год составила 342,69 кВт×ч;
- срок окупаемости солнечной батареи из одной панели составляет 6 лет при ее начальной стоимости 10500 рублей, чистая прибыль за 20 лет эксплуатации - 30691,34 рублей.

Задача 4. Расчетное обоснование выбора солнечной электростанции “Дача” для климатических условиях села Кобяй с использованием законов физики.

Рассчитаем **коэффициент полезного действия** (к.п.д.) солнечной панели “Дача”.

Солнечная энергия, падающая на солнечную панель, рассчитывается по формуле:

$$W_{с.э.} = K \times S_6 \times t ,$$

где $W_{с.э.}$ - солнечная энергия, падающая на солнечную панель,
 $K = 1,366 \times 10^3$ Вт/м² - солнечная постоянная,
 $S_{п} = 1,2$ м² - площадь солнечной панели по паспорту,
 $t = 1$ сутки = 24 ч × 60 с = 1440 с - время действия солнечного излучения, тогда получим количество солнечной энергии, падающей на солнечную панель в сутки в летнее время:

$W_{с.э.} = K \times S_{п} \times t = 1,366 \times 10^3 \times 1,2 \times 1440 = 2360448$ Дж = 0,65568 кВт×ч = 15,74 кВт×ч в сутки.

Согласно расчетам онлайн-калькулятора компании “Технолайн” [3] по метеоданным села Кобяй среднемесячная летняя выработка (накопленной) энергии в сутки составит $W_{н.э.} = 1,38$ кВт×ч в сутки.

По определению коэффициент полезного действия солнечной панели равно отношению накопленной (полезной) энергии на количество солнечной энергии, падающей на солнечную панель, и определяется по формуле:

$$\text{К.п.д.} = W_{н.э.} \times 100 \% / W_{с.э.} = 1,38 \times 100 \% / 15,74 = 138 / 15,74 = 8,8 \%$$

Вывод: по нашим расчетам к.п.д. солнечной панели “Дача” с площадью 1,2 м составляет 8,8 %, что ниже, чем заявлено для монокристаллических солнечных панелей в 18-24 % [2].

Проведем **расчет себестоимости электроэнергии** от солнечной панели “Дача” стоимостью 10500 рублей за время ее эксплуатации в летний период (май - сентябрь).

За летний период средняя выработка электроэнергии солнечной панелью будет равна $W_{сутки} = (1,33 + 1,58 + 1,40 + 1,16 + 0,91) / 5 = 6,38 / 5 = 1,28$ кВт×ч в сутки.

Суммарная выработка электроэнергии за 5 летних месяцев (за год) составит $W_{5 \text{ мес.}} = 1,28 \times 153$ дней = 195,2 кВт×ч. Тогда суммарная выработка электроэнергии за 20 лет составит $W_{20 \text{ лет}} = 195,2 \times 20$ лет = 3904 кВт×ч.

Таким образом, себестоимость 1 кВт×ч электроэнергии от солнечной панели “Дача” будет равна $10500 \text{ руб.} / 3904 \text{ кВт} \times \text{ч} = 2,70 \text{ рублей}$.

Вывод. Себестоимость 1 кВт×ч электроэнергии от солнечной панели “Дача” дешевле на 55,2 % от стоимости электроэнергии в с. Кобяй (6,01 рублей в 2025 г.).

Проведем **расчет окупаемости** солнечной панели “Дача” стоимостью 10000 рублей.

$$t_{\text{ок}} = D_{\text{в}} / (W_{5 \text{ мес.}} \times D_1),$$

где $D_{\text{в}} = 10500$ рублей - стоимость солнечной панели “Дача”;

$D_1 = 6,01$ рубля - стоимость 1 кВт × ч электроэнергии в с. Кобяй;

$W_{5 \text{ мес.}} = 195,2$ кВт×ч - суммарная выработка электроэнергии за 5 летних месяцев (за 1 год);

$$t_{\text{ок}} = 10500 / (195,2 \times 6,1) = 5123 \text{ суток} = 8,9 = 9 \text{ лет.}$$

Чистая прибыль за 20 лет эксплуатации составит $\text{Пр} = W_{20 \text{ лет}} \times 6,1 = 3904 \times 6,01 = 23463,04$ рубля.

Выводы по нашим расчетам:

- среднегодовая выработка электроэнергии (май-сентябрь) составила 1,28 кВт×ч в сутки, суммарная выработка электроэнергии за год составила 195,2 кВт×ч;

- срок окупаемости солнечной батареи из одной панели составляет 9 лет при ее начальной стоимости 10500 рублей, чистая прибыль за 20 лет эксплуатации составляет 23463,04 рублей.

Заключение

В отсутствие электричества использование автономной солнечной электростанции малой мощности (до 1 кВт в сутки) даже с небольшим расчетным к.п.д. 8,8 % может быть вполне выгодным в период летних дней с высокой солнечной инсоляцией с мая по сентябрь месяцы:

- расчетная выработка электроэнергии за 5 летних месяцев (май-сентябрь) составляет 195,2 кВт×ч, а общая выработка электроэнергии за 20

лет составляет 3904 кВт×ч, что достаточно для обеспечения светом, водоснабжения и зарядки электронных устройств;

- себестоимость 1 кВт×ч электроэнергии от солнечной панели “Дача” получилась дешевле на 55,2 % от стоимости электроэнергии в с. Кобяй (6,01 рублей в 2025 г.);

- срок окупаемости солнечной батареи из одной панели составляет 9 лет при ее начальной стоимости 10500 рублей, чистая прибыль за 20 лет эксплуатации составляет 23463,04 рублей.

Список использованной литературы

1. Книга идей Lego mindstorms EV3. 181 удивительный механизм и устройство / Йошихито Исогава. М.: Издательство «Э», 2017. - 232 с.
2. Местников Н.Н. Способы повышения энергоэффективности фото-солнечных электростанций в условиях Севера [Электронный ресурс]: монография. Якутск : Издательский дом СВФУ, 2024. – 1 электрон. опт. диск.
3. Сайт компании ”Технолайт”. Подбор солнечной электростанции / <https://e-solarpower.ru/solar/solnechnye-elektrostancii-dlya-doma-i-dachi/nezavisimost-ru/solnechnaya-elektrostanciya-dacha-r>
4. Моделирование исторических данных о климате и погоде села Кобяй / www.meteodlue.com