

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

В. А. Кулагин

подпись

инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ »

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника

код и наименование направления.

Использование солнечных систем в отдаленных и труднодоступных  
районах

наименование темы

руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

С. П. Сибиряков.

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Д. В. Ефимов

инициалы, фамилия

Красноярск 2022 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Использование солнечных систем в отдаленных и труднодоступных районах» содержит 36 страницы текстового документа, 10 иллюстраций, 12 таблиц, 2 приложения, 9 использованных источников.

Ключевые слова: Солнечная станция, солнечная панель, сетевой инвертор, автономная гибридная энергоустановка (АГЭУ)

Объектом исследования является – автономная гибридная дизель-солнечная энергоустановка в поселке Тура.

Цели исследования:

- оценка преимуществ электроэнергии, производимой солнечными панелями
- расчёт себестоимости электроэнергии, получаемой от солнечных панелей
- определение проблем при производстве солнечной энергии;
- разработка решений по организации стабильной генерации электроэнергии.

В результате проведения исследования были разобраны проблемы, с которыми сталкиваются изолированные сети, преимущества и недостатки производства солнечной энергии, был проанализирован солнечный потенциал в районе поселке Тура, произведен подбор солнечных панелей и вспомогательного оборудования, такого как инверторы, аккумуляторы, трансформаторы. Произведен технико - экономический расчет, по результатам которого себестоимость генерации электроэнергии на солнечных панелях была рассчитана и сравнена с себестоимостью генерации электроэнергии дизельным генератором.

В итоге был разработан ряд рекомендаций и предложений для использования солнечной энергии в труднодоступных сетях, предложены технические решения по расширению использования солнечной энергии совместно с электроэнергией, получаемой традиционными способами.

## Оглавление

1 Энергоснабжение в труднодоступных районах.....	5
1.1 Особенности автономного энергоснабжения .....	5
1.2 Типы панелей и переработка .....	8
1.3 География и цели. ....	9
1.4. Информация о ГК «Хевел» и строительстве АГЭУ в п.Тура.....	10
2 Расчет солнечной электростанции .....	11
2.1 Анализ солнечного потенциала .....	11
2.2 Расчет солнечной станции .....	12
2.2.1 Выбор солнечных панелей.....	12
2.2.3 Суммарная солнечная радиация.....	13
2.2.4 Расчет солнечного излучения на наклоненные площадки. ....	14
2.2.5. Расчет мощности одной панели. ....	15
2.2.6. Расчет количества солнечных панелей.....	17
2.2.7. Подбор инвертора .....	20
2.2.7 Подбор аккумуляторов .....	23
3 Техничко-Экономический расчет.....	24
3.1 Расчет годового фонда заработной платы.....	24
3.2 Производственная программа предприятия.....	25
3.3 Потребность в инвестициях .....	26
3.4 Формирование производственных издержек .....	26
3.5 Техничко-экономический расчет солнечной электростанции .....	29
3.6 Анализ итоговых данных .....	30
Заключение .....	32
Список литературы .....	33

Приложение А .....	35
Приложение Б.....	36

## **1 Энергоснабжение в труднодоступных районах**

### **1.1 Особенности автономного энергоснабжения**

Развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – тренд не только локального, но и глобального масштаба, обусловленный экономическими, социальными и экологическими причинами, в том числе проблемой снижения выбросов парниковых газов и изменения климата. В мире в целом рассматривается, и перспектива полного перехода на ВИЭ в будущем.

Ряд авторов в большой российской энциклопедии [1, т.15 с. 250] отмечают, что более 10 из 17 млн. км<sup>2</sup> площади России приходится на северные территории и приравненные к ним; пятая часть территории страны, и треть территории Красноярского края лежит к северу от полярного круга.

В России около 2/3 территории имеет автономное энергоснабжение. В этих регионах проживает не менее 11 млн человек, и добывается примерно 92 % основных полезных ископаемых страны, имеющие колоссальное значение для экономики РФ, а энергоснабжение этих территорий происходит на основе дизельных электростанций (ДЭС)

Авторы возобновляемых источников энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики [2 с. 20-60] приводят такие данные: доля населения арктических регионов менее 2 % от всей России, их суммарное потребление электроэнергии составляет 3,6%. Отдельной проблемой является организация поставки грузов, в основном топлива, в районы Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. В июне 2016 г. на заседании Государственной комиссии по вопросам развития Арктики были подвели итоги, согласно им, в рамках ежегодного «завоза» поставляется до 8 млн т горюче-смазочных материалов и до 25 млн т угля. Для этого федеральный региональный бюджет ежегодно выделяют сотни миллионов рублей, а доля транспортной составляющей в стоимости топлива может достигать 70%. Стоимость топлива для труднодоступных районов доходит до 5–8 тыс. руб./т у.т., а дизельного – 30–35 тыс. руб./т и превосходит цену мирового рынка в несколько раз.

Районы Севера и Востока, являющиеся зонами преимущественно децентрализованного энергоснабжения, имеют некоторые общие черты. Это, в первую очередь, специфически суровые климатические условия, неблагоприятные не только для проведения масштабных работ вообще, но и особенно пагубные для сооружения и эксплуатации электроэнергетических объектов (неустойчивость грунтов, критически высокие перепады температур в сезонном и суточном разрезе. Проблема электроснабжения автономных потребителей имеет особую значимость, поскольку довольно большая часть ее территории находится в суровых климатических зонах, и требования к надежности систем электроснабжения жёстче.

Анализ энергоснабжения изолированных территорий был проведен на основе годовых отчетов рассматриваемых областей. Результатам анализа с характеристиками ДЭС в 13 субъектах РФ представлены в рисунке 1. Согласно Российскому энергетическому агентству, на территории России в зонах автономного энергоснабжения работает примерно 900 ДЭС, которые требуют более 1 млн тонн дизельного топлива в год. Ряд авторов [3,4] в своем анализе нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию выяснили, что годовые расходы на финансирование энергоснабжения изолированных территорий превысили 150 млрд руб., из которых, около 100 млрд руб. – стоимость «северного» завоза топлива, а 50 млрд руб. – возмещение разницы в тарифах.

Характеристики ДЭС в различных субъектах РФ

Субъект РФ	Кол-во ДЭС	Мощность, МВт	Выработка электроэнергии, тыс. кВт-ч	Объем завозимого топлива, тыс. Т	Затраты на завоз топлива, млн. руб.	Стоимость тонны дизельного топлива, руб.	Стоимость электроэнергии, руб./кВтч
Архангельская область	63	46	64440	7,6	523,8	68921,1	До 60
Ненецкий автономный округ	36	89	25000	11,12	560,5	50404,7	До 32
Республика Саха (Якутия)	145	364	325215	740	31300	42297,3	До 36
Камчатский край	181	152,15	151308	30	165	5500,0	До 54
Мурманская область	150	3,8	85000	–	–	–	До 50
Республика Коми	27	58,06	19400	–	–	–	До 15
Чукотский автономный округ	46	82,83	97352	145	–	–	До 10,45
Красноярский край	70	30	98806	62	313,1	5050,0	Более 25
Ямало-Ненецкий автономный округ	42	185	1524335	89	4100	46067,4	–
Ханты-Мансийский автономный округ	37	39,77	71764	11	500	45454,5	–
Сахалинская область	24	41,23	50500	–	–	–	До 16,13
Хабаровский край	64	8,83	19297	24	1300	54166,7	До 29,02
Магаданская область	13	15,55	280000	–	–	–	До 36,96
ИТОГО	898	1116,22	2812417	1119,72	38762,4	До 68921,1	До 60

Рисунок 1 - Характеристики ДЭС в различных субъектах РФ

В некоторых регионах затраты на финансирование энергоснабжения выше 50 % бюджета региона (рисунок 1) [3].

Одним из способов снижения затрат на доставку топлива в удаленные районы и повышения надежности их энергоснабжения является использование местных энергоресурсов – ветра, солнца, малых рек. В частности, портативные и модульные установки с использованием ветровых или фотоэлектрических элементов, работающих в сочетании с дизельным генератором

## 1.2 Типы панелей и переработка

Солнечные фотоэлектрические (PV) панели с истекшим сроком службы представляют собой поток отходов, который показывает быстрый рост с 2020 года. Оценка типов модулей на рынке показывает высокое и быстро растущее разнообразие фотоэлектрических панелей, демонстрирующее различия в конструкции, основных технологиях и используемых компонентах, что создает особые проблемы с точки зрения утилизации. Состав основных типов фотоэлектрических панелей показывает, что стандартные процедуры переработки могут применяться к тем компонентам, на долю которых приходится основная доля массы панели (стекло, алюминий, полимеры, электроника). Однако фотоэлектрические панели также содержат такие драгоценные материалы, как индий, галлий, теллур, серебро, но на их долю приходится очень низкая процентов от общей массы панели. Драгоценные материалы требуют дополнительных усилий по переработке

На рынке фотоэлектрических систем доминируют панели из кристаллического кремния (с-Si; на основе пластин) их доля около 90% (монокристаллические кремниевые панели: 40%, поликристаллические: 50%). второй основной тип — тонкопленочные панели (доля рынка 10%), категория, включающая различные типы фотоэлементов. Общей характеристикой является то, что тонкопленочные пластины изготавливаются путем нанесения тонких слоев материалов на несущую подложку, а солнечные элементы с-Si изготавливаются путем вырезания пластин из кристаллов кремния. Тонкопленочные панели являются более ресурсоэффективными (что значит меньшее потребление ресурсов) по сравнению с панелями с-Si.

Модули на основе кремния останутся доминирующими на рынке, но с постоянно растущим разнообразием. В то же время тонкопленочные панели будут приобретать все большее значение и увеличивать свое разнообразие. Учитывая тот факт, что установленная фотоэлектрическая мощность значительно увеличится в ближайшие десятилетия становится очевидным, что



абсолютное количество фотоэлектрических панелей значительно вырастет, как вновь устанавливаемых панелей, так и панелей с истекшим сроком эксплуатации, включая тонкопленочные модули.

### 1.3 География и цели.

Поселок Тура Расположен в месте впадения реки Кочечум в Нижнюю Тунгуску. В данный момент поселок с общим потреблением порядка 10МВт снабжается ДЭС. Это вызывает огромные расходы на завоз топлива. Среди целей работы – заместить часть электроэнергии от ДЭС на солнечную энергию, что должно снизить себестоимость энергии, снизить затраты на топливо и увеличить ресурс дизельных агрегатов.

Таблица 1 - Национальный состав поселка Тура.

№	Национальность	Численность, чел.	Доля
1	русские	3 278	59,2 %
2	эвенки	925	16,7 %
3	якуты	251	4,5 %
4	украинцы	130	2,4 %
5	не указано	412	7,5 %
6	другие	539	9,7 %

В настоящее время в Туре есть база снабжения, районное управление автомобильных дорог, действуют предприятия тепло- и электроснабжения, транспортировки ГСМ.

В Туре работают межрайонная больница, центр социального обслуживания населения, две гостиницы, баня. Данные о климатологии представлены в таблице 2

Таблица 2 - Сводные климатические данные на основе справочника СП 131.13330.2018 "СНиП 23-01-99\* Строительная климатология".

Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.98	-56 °С
Температура воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0.92	-55 °С
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.98	-54 °С
Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0.92	53 °С
Температура воздуха обеспеченностью 0.94	-43 °С
Абсолютная минимальная температура воздуха	59 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха $\leq 0$ , °С	218 сут
Средняя температура воздуха периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 0$ , °С	22,2 °С
Продолжительность, сут, периода со среднесуточной температурой воздуха $\leq 10$ , °С	284 сут

#### 1.4. Информация о ГК «Хевел» и строительстве АГЭУ в п.Тура

ГК «Хевел» российская компания, работающая в отрасли солнечной энергетики, которая построила первый в России завод полного цикла по производству солнечных (фотоэлектрических) модулей и первую солнечную электростанцию промышленного масштаба.

В ГК «Хевел» входит ООО «Хевел Энергосервис», занимающееся повышением энергетической эффективности дизельных электростанций, расположенных в энергоизолированных и труднодоступных районах, за счет строительства автономной гибридной энергоустановки (АГЭУ) на основе технологий использования энергии солнца и ветра.

В декабре 2019 года при поддержке Правительства Красноярского края и администрации Эвенкийского муниципального района между ООО «Хевел Энергосервис» и МП «Илимпейские электросети» заключен энергосервисный договор по строительству АГЭУ в п. Тура.

Параметры проекта:

- установленная мощность ФЭС - 2,5 МВт;
- емкость системы накопления электроэнергии - 0,45 МВт\*ч;
- объем инвестиций ГК «Хевел» - 300 млн. рублей без НДС;
- срок контракта - 10 лет (либо менее, по факту досрочного исполнения обязательств Исполнителя по достижению планового объема экономии дизельного топлива)

## **2 Расчет солнечной электростанции**

### **2.1 Анализ солнечного потенциала**

По мнению специалистов, Россия имеет большой потенциал в развитии солнечной энергетики. По показателям инсоляции в некоторых регионах России солнечная энергетика может стать реальной альтернативой традиционным источникам энергии в Южном Федеральном округе, на юге Сибири и Дальнего Востока. К примеру, Краснодарский край и большая часть Сибири по инсоляции (облучение поверхностей солнечным светом) сравнимы с югом Франции и центральной частью Италии, где солнечная энергетика сейчас развивается очень бурными темпами.

Солнце постоянно излучает колоссальное количество энергии. Только небольшая его часть достигает Земли. Но даже эта часть солнечной энергии, попадающая на Землю в течение одного дня, может покрыть все потребности

человечества в энергии на целый год. К сожалению, не вся эта энергия может быть использована. Частично солнечная энергия поглощается атмосферой или отражается обратно в космос. Интенсивность солнечного света, которая достигает земли меняется в зависимости от времени суток, года, местоположения и погодных условий. Общее количество энергии, подсчитанное за день или за год, называется иррадиацией (или еще по-другому "приход солнечной радиации") и показывает, насколько мощным было солнечное излучение.

## **2.2 Расчет солнечной станции**

### **2.2.1 Выбор солнечных панелей**



Рисунок 2 - солнечная панель HVL-330/HJT.

Для проекта была выбрана солнечная панель HVL-330/НТ.

Технические характеристики HVL-330/НТ:

- Номинальная мощность: 330Вт
- Эффективность. 19.7%
- Линейная гарантия производителя: 25 лет
- Гарантия на модуль:12 лет
- Размеры: 1671x1002x35мм

### 2.2.3 Суммарная солнечная радиация

Таблица 3 СНиП 23-01-99. Таблица 5 - Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на вертикальную поверхность при безоблачном небе, МДж/м<sup>2</sup>. РФ.

Угол наклона – 45 градусов, ориентация – ЮГ

Месяц	Радиация, Мдж/м <sup>2</sup>	месяц	Радиация, Мдж/м <sup>2</sup>
январь	242	июль	591
февраль	397	август	600
март	630	сентябрь	612
апрель	671	октябрь	522
май	640	ноябрь	325
июнь	554	декабрь	192

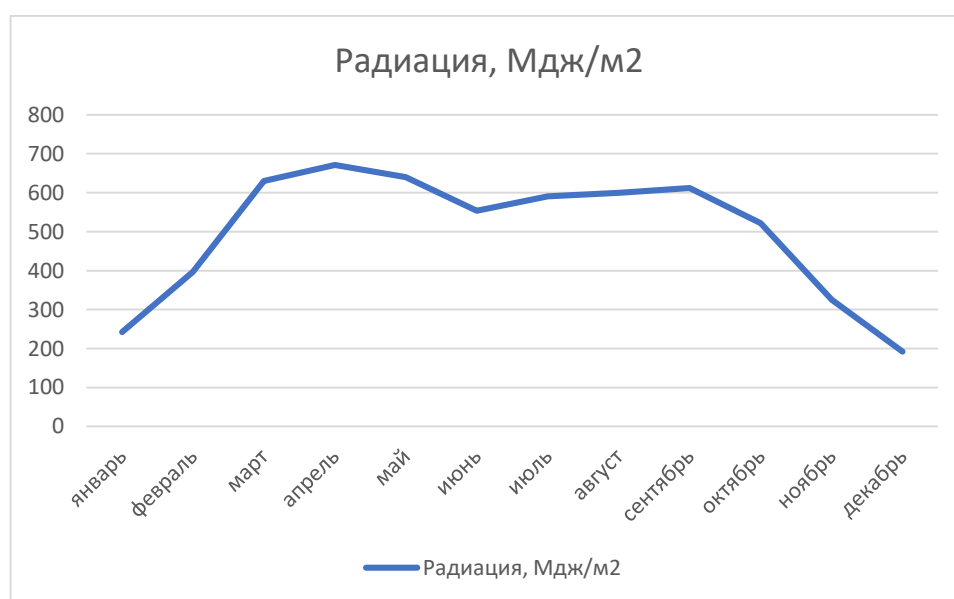


Рисунок 3 - распределение солнечной радиации по месяцам

## 2.2.4 Расчет солнечного излучения на наклоненные площадки.

Мощность потока солнечного излучения на произвольноориентированную приемную площадку площадью  $F$  ( $\text{м}^2$ ) на Земле в любой момент времени определяется следующим соотношением:

$$R_F = R_m \cos(f) \quad (1)$$

где  $R_m$  – мощность потока прямого солнечного излучения на поверхности Земли на приемную площадку, перпендикулярно;

$\cos(f)$  – угол наклона относительно перпендикуляра к солнцу.

Тогда по формуле (1) заполняем таблицу 4.

Таблица 4 - Результат расчета потока прямого солнечного излучения на поверхность панели

Месяц	Радиация на поверхность $45^\circ$ МДж/м <sup>2</sup>
январь	169,4
февраль	277,9
март	441
апрель	469,7
май	448
июнь	387,8
июль	413,7
август	420
сентябрь	428,4
октябрь	365,4
ноябрь	227,5
декабрь	134,4

### 2.2.5. Расчет мощности одной панели.

Для расчета мощности одной солнечной панели необходимо собрать информацию о количестве дней и числе солнечных часов в каждом месяце.

Таблица 5 - продолжительность месяца и длина светового дня для широты поселка Тура

Месяц	Число дней в месяце	число часов светового дня
январь	31	5,1
февраль	28	8,166
март	31	11,2
апрель	30	14,56
май	31	1,866
июнь	30	20,733
июль	31	20,06
август	31	16,883
сентябрь	30	13,53
октябрь	31	10,33
ноябрь	30	7
декабрь	31	4,46

Мощность солнечной энергии, падающей на 1 м<sup>2</sup> определяется следующей формулой:

$$P_{\text{зем}} = \frac{RF(t)}{d \cdot h \cdot 3600} \text{ ,Вт} \quad (2)$$

где  $d$  – количество дней в соответствующем месяце;

$h$  – число часов светового дня;

Тогда мощность солнечной панели равна:

$$P_{\text{панели}} = \frac{P_{\text{зем}} \cdot S \cdot \eta}{100} \text{ ,Вт} \quad (3)$$

где  $S$  – площадь солнечной панели,  $m^2$ ;

$\eta$  – КПД солнечной панели (%);

Для удобства восприятия, переведем мощность панелей из Вт в кВт\*ч/день, что позволит увидеть производительность одной панели за световой день. Для перевода воспользуемся формулой

$$P_{\text{панели}}^{\text{кВт*ч}} = \frac{P_{\text{панели}} * h}{1000}, \text{ кВт*ч} \quad (4)$$

Тогда по формулам (3,4) заполняем таблицу 6

Таблица 6 - расчет производительности панели за день

Месяц	Мощность солнечной энергии, попадающей на землю, Вт/м	Мощность панели, Вт	Количество энергии, вырабатываемое панелью за день, кВт*ч/день
январь	425,18	142,382	0,726
февраль	482,30	161,5083	1,318
март	504,032	168,7845	1,890
апрель	426,71	142,8932	2,080
май	320,987	107,4887	1,920
июнь	247,413	82,85105	1,717
июль	263,992	88,4029	1,773
август	318,447	106,6379	1,800
сентябрь	418,8	140,2504	1,897
октябрь	452,799	151,6283	1,56
ноябрь	429,894	143,958	1,007
декабрь	385,746	129,1744	0,576
Среднее	389,695	130,4966	0,726



## 2.2.6. Расчет количества солнечных панелей.

Нам необходимо снабжать несколько поселков с суммарным потреблением 10 МВт, которые снабжаются дизельными генераторами.

Для расчета количества панелей возьмем за мощность одной панели значение, соответствующее мощности панели в месяц, соседний к месяцу с максимальной производительностью за день. Таким образом мы сможем заместить наибольшее количество энергии от дизельной станции и уменьшим дневной пик производства, что уменьшит затраты на аккумуляторы. Берем производительность за май.

Используя данные таблицы 6 найдем количество панелей, необходимое чтобы заместить 10 МВт

$$N = \frac{P_{\text{общая}}}{P_{\text{панели}}} = \frac{10 \cdot 10^6}{107,49} = 68462 \quad (5)$$

С учетом количества панелей, найдем производительность панелей по месяцам, для чего зададимся двумя графиками нагрузок: суточным и годовым



Рисунок 4 - Годовой график нагрузок.

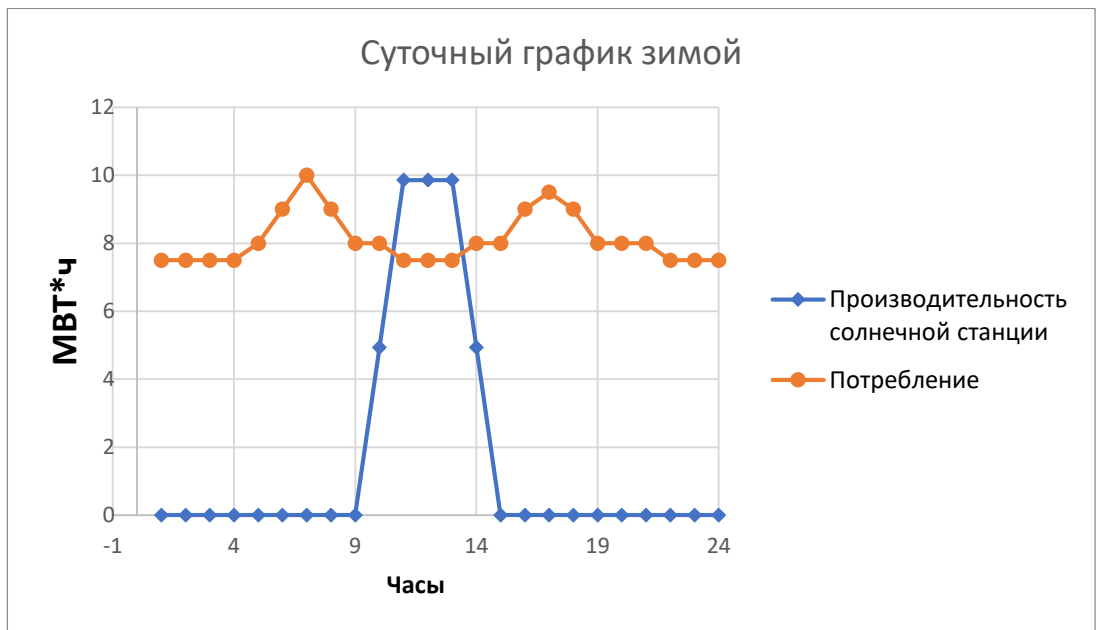


Рисунок 5- Суточный график зимой

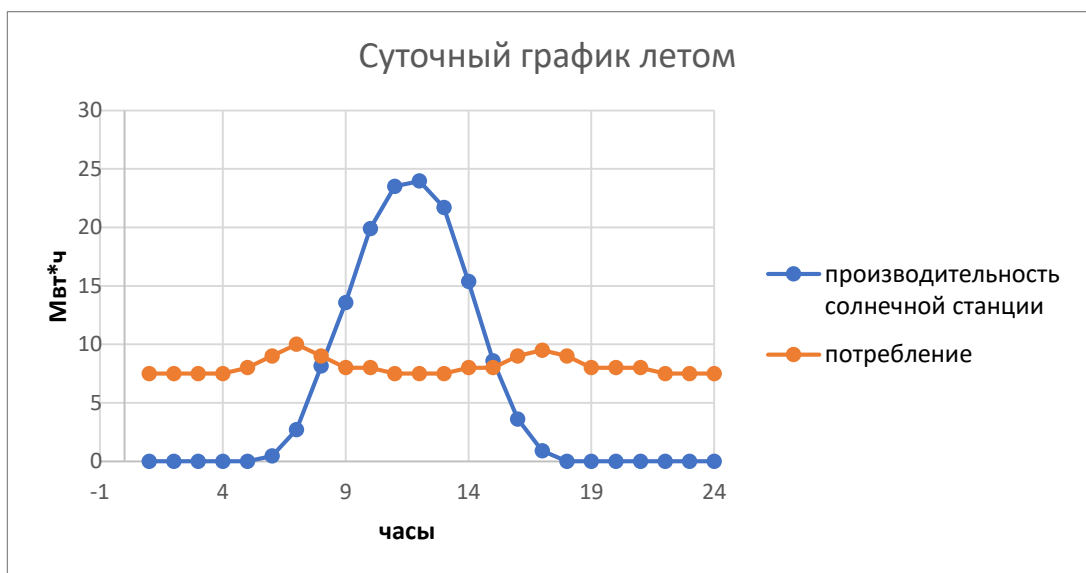


Рисунок 6 - Суточный график летом

Производительность станции за месяц найдем по следящей формуле

$$P_{\text{станции}}^{\text{МВт*ч}} = \frac{P_{\text{панели}}^{\text{кВт*ч}} * d}{1000} * N, \text{ МВт*ч} \quad (6)$$

где  $N$  – количество панелей.

Потребление найдем как:

$$P_{\text{потреб}}^{\text{МВт*ч}} = 10 * 24 * d * k_{\text{нагр}} , \text{МВт*ч} \quad (7)$$

где  $k_{\text{нагр}}$  – коэффициент, неравномерности нагрузки по месяцам (табл. П.1.3).

Так же найдем дефицит энергии

$$\Delta = P_{\text{потреб}}^{\text{МВт*ч}} - P_{\text{станции}}^{\text{МВт*ч}} , \text{МВт*ч} \quad (8)$$

По формулам (6-8) заполним таблицу 7.

Таблица 7 - данные расчетов производительности станции

Месяц	Производительность панели, Квт*ч/ месяц	Производительность всей станции, МВт*ч/ месяц	Потребление, МВт*ч/ месяц	Дефицит, МВт*ч/ месяц
январь	22,5106	1541,1	7440	5898,9
февраль	36,92854	2528,2	6720	4191,8
март	58,60197	4012,0	7068	3056,0
апрель	62,41575	4273,1	6480	2206,9
май	59,53216	4075,7	5952	1876,3
июнь	51,53253	3528,0	5040	1512,0
июль	54,97423	3763,6	5208	1444,4
август	55,8114	3820,9	5208	1387,1
сентябрь	56,92763	3897,4	5760	1862,6
октябрь	48,55592	3324,2	6696	3371,8
ноябрь	30,23118	2069,7	6840	4770,3
декабрь	17,85965	1222,7	7440	6217,3

По данным таблицы 7 построим годовой график нагрузок.

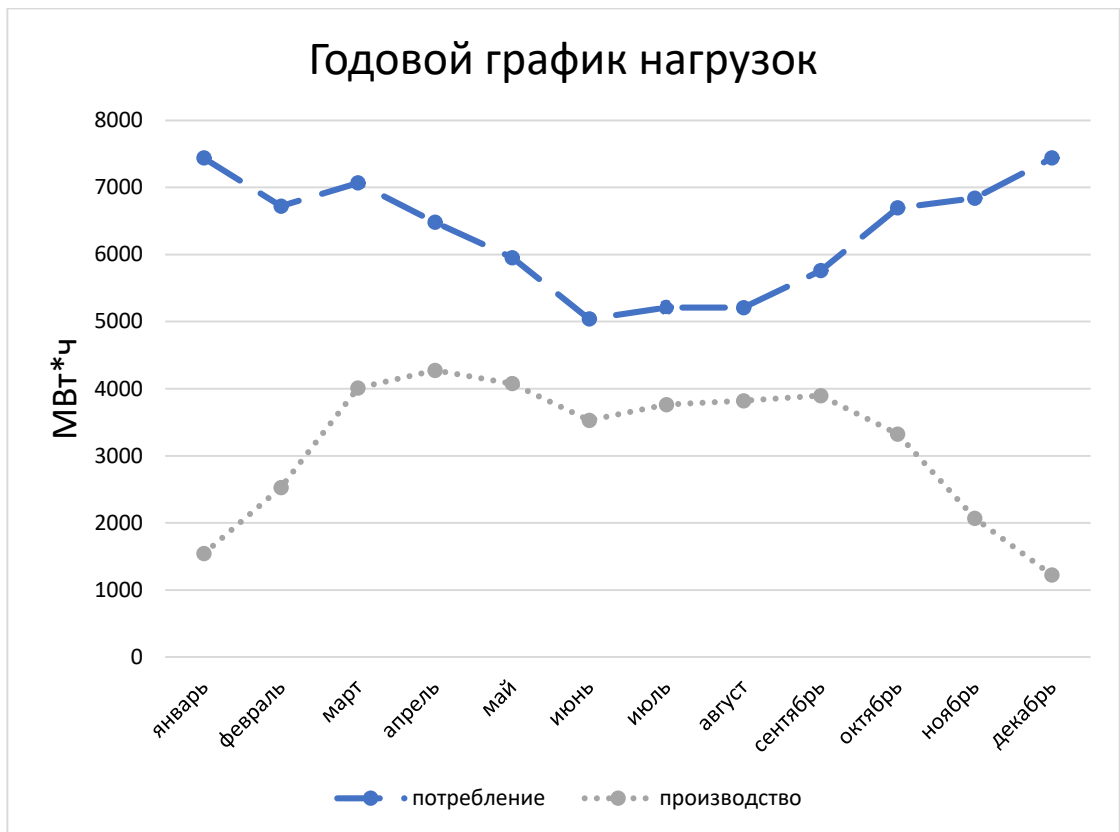


Рисунок 7 - Годовой график нагрузок

### 2.2.7. Подбор инвертора

Исходя из наших требований, для минимизации количества оборудования был подобран инвертор максимальной мощности, им оказался MPPT Сетевой солнечный инвертор SOFAR 100000TL 3-фазы.



Рисунок 8 Сетевой солнечный инвертор SOFAR 100000TL 3-фазы

Описание инвертора:

**Сетевой солнечный инвертор SOFAR 100000TL 3-фазы** для микрогенерации это современный и высокоэффективный трехфазный фотоэлектрический сетевой инвертор с десятью MPPT контроллерами. Данный инвертор полностью подходит для построения гелиосистемы для экономии и продажи электроэнергии в сеть (объекта **микрогенерации**). Инверторы серии TL имеют уникальную встроенную функцию - возможность снижения мощности по команде делIMITера (устройства, отслеживающего передачу электроэнергии в сеть). Датчики делIMITера устанавливаются перед счетчиком, если определяется отдача электроэнергии в сеть, делIMITер дает команду инвертору снизить вырабатываемую мощность. Тем самым предотвращается отдача электроэнергии в сеть (очень часто российские счетчики считают отданную электроэнергию как потребленную). Особенности:

- 1) 99% эффективность
- 2) Wi-Fi модуль в комплекте
- 3) Гарантия 5 лет
- 4) Широкий диапазон входного напряжения от 200 до 1000В
- 5) Защита IP65 позволяет устанавливать в любом месте, даже вне помещений
- 6) Нержавеющий алюминиевый корпус
- 7) Возможность реактивной мощности
- 8) Уменьшение мощности при повышении частоты сети

Более подробные технические характеристики инвертора описаны в таблице 8.

Таблица 7 - Характеристики солнечного инвертора

Модель	SOFAR 100000TL 3-фазы
Тип устройства	Бестрансформаторный
Мощность	100 кВт
Гарантия	5 лет
Вход (Постоянное напряжение):	
Максимальная мощность DC	130 кВт
Выход (Переменное напряжение):	
Максимальная(номинальная) мощность AC	100 кВт
Диапазон выходного напряжения	310В - 480В
Номинальная частота	50Гц / 60Гц
Коэффициент мощности (cosθ)	1
Количество фаз	3
Максимальная эффективность	99%
Цена	519 010 руб.

Исходя из максимальной мощности системы и данных таблицы 8 находим необходимое количество инверторов:

$$N_{\text{ИНВ}} = \frac{P_{\text{общая}}}{P_{\text{ИНВ}} * \eta_{\text{ИНВ}}} = \frac{24 * 10^6}{100 * 10^3 * 0.99} = 303 \quad (9)$$

где  $P_{\text{ИНВ}}$  – мощность 1 инвертора, Вт;

$\eta_{\text{ИНВ}}$  – КПД инвертора.

## 2.2.7 Подбор аккумуляторов



Рисунок 9 - аккумулятор LiFePO4 48-200

Таблица 8 – характеристики аккумулятора LiFePO4 48-200

Модель	LiFePO4 48-200
Емкость	9,6 кВт*ч (204 Ач)
BMS система	Есть
Возможность параллельного подключения	Есть
<b>Срок службы:</b>	
В циклическом режиме при глубине разряда 90%	2000 циклов разряда/заряда
В циклическом режиме при глубине разряда 50%	3000 циклов разряда/заряда
<b>Гарантия</b>	<b>2 года</b>

Подберем количество аккумуляторов по максимальной емкости, для этого на суточном графике летнего месяца найдем площадь фигуры, возвышающейся над линией потребления.

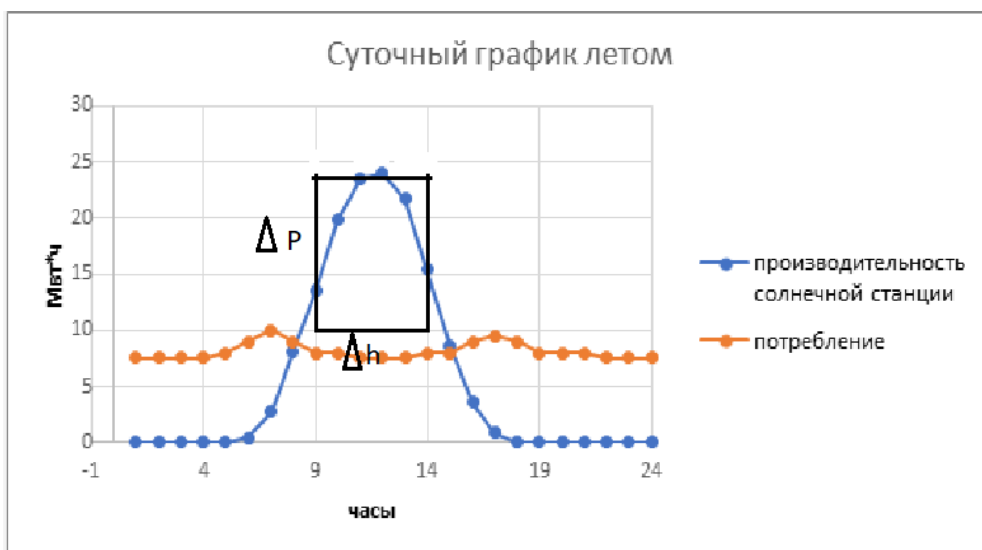


Рисунок 10 – методика расчета количества аккумуляторов

В таком случае количество аккумуляторов будет равно

$$N_A = \frac{S \cdot 1000}{\varepsilon \cdot \eta_{\text{аккумулятор}}} = 5787, \quad (10)$$

где  $S$  - площадь получившейся фигуры, МВт/ч;

$\varepsilon$  – емкость одного аккумулятора (табл.9), в МВт;

$\eta_{\text{аккумулятор}}$  – КПД аккумулятора,  $\eta_{\text{аккумулятор}} = 0,9$ .

### 3 Технико-Экономический расчет

Для расчета себестоимости электрической энергии обратимся к учебно-методическим пособиям по экономическим расчетам [5,6,7,8,9].

#### 3.1 Расчет годового фонда заработной платы

Расчет для дизельной электростанции начнем с расчета численности персонала и годового фонда заработной платы.

Для целей проектирования численность персонала котельной может



быть рассчитана по формуле:

$$Ч = n_y * N_y, \text{ чел} \quad (10)$$

где  $n_y$ - штатный коэффициент,  $n_y = 1,2$  чел./МВт;

$N_y$  – мощность станции, в МВт.

### 3.2 Производственная программа предприятия.

Для нахождения производства электроэнергии дизельной электростанцией сложим дефициты энергии, получившиеся как разность между потреблением и производством энергии солнечной электростанцией. Иными словами, найдем мощность, которая должна взять на себя дизельная электростанция для покрытия нагрузки.[7]

$$Q_{\text{выр}} = \sum_{i=1}^{12} \Delta_i * 1,2, \text{ МВт*ч} \quad (11)$$

Где  $\Delta_i$  – Дефицит энергии за  $i$ -тый месяц.

$k_{\text{пот}}$  – коэффициент, учитывающий потерю энергии при хранении и транспортировке через аккумуляторы, потерю производительности из-за деградации панелей за 10 лет,  $k_{\text{пот}} = 1,2$

Результат производственной программы занесем в таблицу 10

Таблица 9 – Результат производственной программы

	Дефицит энергии МВт*ч
Суммарно	45354,5

Потребность в топливе зависит от годовой выработки электроэнергии (табл.10) и удельных расходов топлива

$$B_y = b_y * Q_{\text{выр}}, \text{ л} \quad (12)$$

где  $b_y$  – удельный расход дизельного топлива на единицу выработанной электрической мощности,  $b_y = 0,26$  л./Квт\*ч;

$Q_{\text{ВЫР}}$  – суммарная выработка электрической мощности за год, МВт\*ч.

### 3.3 Потребность в инвестициях

Капиталовложения в оборудование рассчитаем, как

$$k_{\text{об}} = \sum_{i=1}^n N_i C_i k_{\text{п.н}}, \text{ руб.} \quad (13)$$

где  $N_i$  – количество оборудования;

$C_i$  – цена оборудования, руб;

$k_{\text{п.н}}$  – поправочный коэффициент равный 1,1, учитывающий стоимость монтажа и пуско-наладки.

### 3.4 Формирование производственных издержек

Себестоимость тепловой энергии представляет собой стоимостную оценку используемых в процессе ее производства топлива, воды, электроэнергии, материалов, основных фондов, трудовых ресурсов, других затрат на ее производство и реализацию. [8]

Для определения себестоимости производства тепловой рассчитываются следующие статьи затрат:

1. Топливо на технологические цели
2. Затраты на электроэнергию.
3. Затраты на воду.
4. Оплата сточных вод
5. Расходы на оплату труда,
6. Страховые взносы
7. Амортизационные отчисления
8. Затраты на ремонт.
9. Плата за выбросы загрязняющих веществ
10. Прочие расходы

По статье 1 «Топливо на технологические цели» отражается стоимость

технологического топлива, расходуемого непосредственно на производство энергии. Израсходованное на производство топливо (газ, уголь, мазут) расценивается по средневзвешенной цене франко-станция назначения. В стоимость топлива франко-станция назначения входит стоимость топлива по договорной цене, железнодорожный тариф и другие расходы до пункта назначения.

$$I_T = B_H * C_H, \text{ тыс. руб.}, \quad (14)$$

где  $C_H$  – цена топлива с учетом доставки  $C_H = 100$  руб./л.;

По статье 2 «Затраты на электроэнергию». Рассчитываются, исходя из годового расхода электроэнергии на собственные нужды станции и тарифов. Тариф установлен приказом от 18 декабря 2019 года N 546-п об установлении долгосрочных тарифов на электрическую энергию, отпускаемую муниципальным предприятием Эвенкийского муниципального района "Илимпейские электросети"

$$I_{с.н} = Q_{\text{вып}} * 0,02 * C_э \text{ тыс. руб.}, \quad (15)$$

где  $C_э$  – цена (тариф) одного кВт\*ч,  $C_э = 41$  руб./кВт\*ч.

По статье 5 «Расходы на оплату труда» рассчитываются исходя из среднегодовой заработной платы и численности персонала,

$$I_{зп} = 12 * Z_{\text{мес}} * Ч, \text{ руб.} \quad (16)$$

где  $Z_{\text{мес}}$  – среднемесячная заработная плата,  $Z_{\text{мес}} = 76800$ , руб./мес.;

$Ч$  – численность персонала, чел.

По статье 6 «Страховые взносы на обязательное страхование» (30%) отражаются обязательные отчисления в пенсионный фонд Российской Федерации (22%), фонд социального страхования (2,9%), фонд обязательного медицинского страхования (5,1%).

$$I_{\text{отч}} = 0,3 * Z_{\text{мес}} * Ч, \text{ руб.} \quad (17)$$

По статье 7 «Амортизация основных фондов» учитываются амортизационные отчисления на полное восстановление основных производственных фондов котельной, исчисляемые исходя из балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Балансовая стоимость основных производственных фондов проектируемой котельной соответствует сметной стоимости ее строительства (капитальным вложениям). Данные об оборудовании и нормах амортизации содержатся в прил.1,

$$I_{\text{ам}} = K_{\text{об}} * \frac{H_{\text{А}}^{\text{об}}}{100} + K_{\text{стр}} * \frac{H_{\text{А}}^{\text{стр}}}{100}, \text{ руб.} \quad (18)$$

где –  $K_{\text{об}}$  - капитальные вложения в оборудование;

$K_{\text{стр}}$  - капитальные вложения в здания, сооружения;

$H_{\text{А}}^{\text{стр}}$  - норма амортизации зданий, сооружений;

$H_{\text{А}}^{\text{об}}$  - норма амортизации оборудования;

Статья 8 «Затраты на ремонт» включает стоимость капитального и текущего ремонтов и может быть рассчитана в процентах от стоимости основных средств.

$$I_{\text{р}} = K_{\text{об}} * 0,15 + K_{\text{об}} * 0,01, \text{ руб.} \quad (19)$$

Статья 11 «Прочие расходы». В состав прочих расходов можно отнести затраты, не вошедшие в рассмотренные выше статьи расходов: услуги связи, командировочные расходы, налоги, сборы подготовка кадров, охрана труда и технику безопасности.

Поскольку размер перечисленных затрат зависит от мощности энергообъекта и численности персонала, величину их для приближенных расчетов себестоимости можно принимать равной 20—30 % от суммарных затрат на амортизацию и заработную плату с отчислениями.

$$I_{\text{пр}} = 0,2 \cdot (I_{\text{зп}} + I_{\text{отч}} + I_{\text{ам}}), \text{ руб.} \quad (20)$$

Для нахождения себестоимости продукции необходимо разделить сумму затрат на суммарно произведенную электроэнергию.

$$c_{cc} = (I_{c.n} + I_{зп} + I_{отч} + I_{ам} + I_T + I_p + I_{пр})/Q_{вып}, \text{ руб.} \quad (21)$$

Используя таблицу П.1.1 и формулы (10-21) заполняем таблицу 10.

Таблица 10 – результаты технико-экономического расчета для ДЭС

По статье 1 «Топливо на технологические цели»	1179218,08	тыс. руб	91,98%
По статье 2 «Затраты на электроэнергию»	37190,72	тыс. руб	2,90%
По статье 5 «Расходы на оплату труда»	11059,20	тыс. руб	0,86%
По статье 6 «Страховые взносы на обязательное страхование»	3317,76	тыс. руб	0,26%
По статье 7 «Амортизация основных фондов»	24200,00	тыс. руб	1,89%
Статья 8 «Затраты на ремонт»	19360,00	тыс. руб	1,51%
Статья 10 «Прочие расходы».	7715,39	тыс. руб	0,60%
Общие затраты	1282061,16	тыс. руб	100,00%
Отпуск энергии потребителям, Квтч*год	45354541,52		
Себестоимость 1 квтч,руб/квтч	28,27		

### 3.5 Технико-экономический расчет солнечной электростанции

Расчет солнечной электростанции производится аналогично расчету ДЭС, за исключением некоторых особенностей. В расчете для солнечной станции будут отсутствовать затраты на топливо. Так же при расчете солнечной станции было учтено падение производительности выработки на 20 % из-за деградации панелей и потерь, при хранении энергии в аккумуляторах. По формулам (10-21) и таблицу П.1.2 заполняем таблицу 12.

Таблица 12 – результаты технико-экономического расчета для солнечной электростанции

По статье 2 «Затраты на электроэнергию»	19028,27	тыс. руб	1,50%
По статье 5 «Расходы на оплату труда»	11980,8	тыс. руб	2,19%
По статье 6 «Страховые взносы на обязательное страхование»	3594,24	тыс. руб	0,66%
По статье 7 «Амортизация основных фондов»	240243,8585	тыс. руб	43,86%
Статья 8 «Затраты на ремонт»	221747,4677	тыс. руб	40,48%
Статья 10 «Прочие расходы».	51163,780	тыс. руб	9,34%
Общие затраты	547758,420	тыс. руб	100,00%
Отпуск энергии потребителям, Квтч*год	31713790,6		
Себестоимость 1 квтч,руб/квтч	17,27193154		

### 3.6 Анализ итоговых данных

Исходя из себестоимости, можно с уверенностью сказать о рентабельности солнечной энергии даже в таких отдаленных изолированных районах, вместе с тем нельзя забывать и об недостатках данного вида энергии. Суточные и годовые графики отчетливо показывают сильные колебания выработки не только по суткам, но и по месяцам. Использование солнечной энергии является хоть и более дешевой, но и более сложной с точки зрения количества оборудования. Поля из солнечных станций занимают огромную площадь, а вспомогательное оборудование, такое как аккумуляторы, имеют не столь внушительный срок службы, даже без учета холодного климата, который негативно влияет на срок службы. Само же оборудование для солнечной энергетики имеет еще одну особенность – сложность переработки. Солнечные панели с аккумуляторами после своего жизненного цикла представляют собой мусор, который необходимо складировать и перерабатывать, с чем возникают трудности.

Солнечная энергия едва ли сможет полностью заменить традиционную в связи с неравномерностью ее производства, а ведь стабильная и качественная

работа энергетического оборудования является крайне важным, если не сказать критическим, фактором в энергосистеме. Возможно перевести солнечную энергетику на качественно новый уровень способны не только будущие разработки, но и принципиально новый подход, такой как запасание энергии не в электрических аккумуляторах, а в виде горячей воды в баках- аккумуляторах.

Тем не менее прослеживается общемировая тенденция на увеличение генерации энергии за счет возобновляемых источников энергии.

## **Заключение**

В результате проведения исследования были разобраны проблемы, с которыми сталкиваются изолированные сети, преимущества и недостатки производства солнечной энергии, был проанализирован солнечный потенциал в районе поселке Тура, произведен подбор солнечных панелей и вспомогательного оборудования, такого как инверторы, аккумуляторы, трансформаторы. Для бесперебойного энергоснабжения была подобрана ДЭС на 10МВт, способная покрыть недостающую мощность и полностью снабжать всех потребителей при аварии на солнечной станции. Произведен технико - экономический расчет, по результатам которого себестоимость генерации электроэнергии на солнечных панелях была рассчитана и сравнена с себестоимостью генерации электроэнергии дизельным генератором. Был сделан вывод о возможности наращивания выработки электроэнергии солнечными панелями в

В итоге был разработан ряд рекомендаций и предложений для использования солнечной энергии в труднодоступных сетях, предложены технические решения по расширению использования солнечной энергии совместно с электроэнергией, получаемой традиционными способами.



## Список литературы

- 1) Горячко М. Д., Самойлова Г. С. и др. КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ // Большая российская энциклопедия. Том 15. Москва, 2010, стр. 630
- 2) Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. – 80 с.
- 3) Анализ нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию [Электронный ресурс]. URL: [http://www.cenef.ru/file/Discussion\\_paper1.pdf](http://www.cenef.ru/file/Discussion_paper1.pdf) (дата обращения 20.11.2017)
- 4) Gsänger S., Denisov R. Perspectives of the wind energy market in Russia. March 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wwindea.org/perspectives-of-the-windenergy-market-in-russia-launched/> (дата обращения 20.11.2017)
- 5) Бизнес-планирование в энергетике. Разработка бизнес-плана строительства котельной: учебно-методическое пособие для практических занятий [для студентов по напр. подготовки 140400.62 «Электроэнергетика»] / Сиб. федер. ун-т, Ин-т упр. бизнес-процессами и экономики; сост.: М. В. Зубова, В. А. Финоченко. - Электрон. текстовые дан. (pdf, 3,21 Мб). - Красноярск: СФУ, 2016. - Загл. с титул. экрана. - Изд. № 2016-1086: Б. ц. - Текст: непосредственный.
- 6) Иванова И.Ю. Повышение эффективности энергоснабжения в децентрализованной зоне с использованием возобновляемых природных энергетических ресурсов на примере Иркутской области И.Ю. Иванова, Т.Ф. Тугузова, Н.А. Халгаева // Системы. Методы. Технологии. – 2016. – № 1. – С. 83–88.
- 7) Экономика и управление в современной электроэнергетике России: пособие для менеджеров электроэнергетических компаний / под редакцией А.Б. Чубайса. – М.: НП «КОНЦ ЕЭС», 2009. – 616с.: ил.

- 8) Самсонов В.С. Экономика предприятий отрасли: Учеб. для студ. учреждений высш. образования/ В.С. Самсонов – М.: Издательский центр Академия, 2014. – 304 с. – (Сер. Бакалавриат)
- 9) Зубова М.В. Оценка эффективности инвестиций в энергопроекты на основе программного продукта "ENERGY-INVEST": Метод. указ. по дипломному проектированию для студ. направления подготовки дипломированных спец. 650800-"Теплотехника"( спец.1007, 100800)/М. В. Зубова, О. Н. Лазарева; Краснояр. гос. техн. ун-т. –2004.

## Приложение А

Таблица П.1.1

### Состав оборудования на дизельной электростанции

Наименование оборудования	количество	стоимость 1 единицы, руб.	норма амортизации
Генератор ДЭС400 ЯМЗ	25	4400000	20%

Таблица П.1.2

### Состав оборудования на электрической электростанции

Наименование оборудования	количество	стоимость 1 единицы, руб.	норма амортизации
солнечная панель HVL-330/НТ	88022	16 590,00	7%
Солнечный инвертор SOFAR 100000TL 3-фазы	303	519 010,00	20%
Аккумулятор LiFePO4 48-200	5787	294 650,00	6,25%

Таблица П.1.3

### Коэффициент годовой неравномерности

месяц	Коэффициент годовой неравномерности.
январь	1
февраль	1
март	0,95
апрель	0,9
май	0,8
июнь	0,7
июль	0,7
август	0,7
сентябрь	0,8
октябрь	0,9
ноябрь	0,95
декабрь	1

## Приложение Б

Таблица П.2.1

### Суточные коэффициенты неравномерности

час	коэффициент суточной неравномерности зимой	коэффициент суточной неравномерности летом
1	7,5	4,5
2	7,5	4,5
3	7,5	4,5
4	7,5	4,5
5	8	5
6	9	6
7	10	7
8	9	6
9	8	5
10	8	5
11	7,5	4,5
12	7,5	4,5
13	7,5	4,5
14	8	5
15	8	5
16	9	6
17	9,5	6,5
18	9	6
19	8	5
20	8	5
21	8	5
22	7,5	4,5
23	7,5	4,5
24	7,5	4,5

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



подпись

В. А. Кулагин  
инициалы, фамилия

« 22 »

июня 2022г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

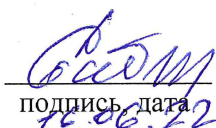
13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника

код и наименование направления.

Использование солнечных систем в отдаленных и труднодоступных  
районах

наименование темы

руководитель

  
подпись, дата

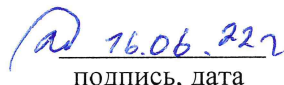
доцент, к.т.н.

должность, ученая степень

С. П. Сибиряков.

инициалы, фамилия

Выпускник

  
подпись, дата

Д. В. Ефимов

инициалы, фамилия

Красноярск 2022 г.