

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
Электрические станции и электроэнергетические системы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
И.В. Коваленко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование режимов работы солнечных панелей различных типов в
климатических условиях г. Красноярска

тема

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

код и наименование направления

13.04.02.02 Электроэнергетические системы, сети, линии электропередачи, их
режимы, устойчивость и надёжность

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	<u>К.Т.Н., доцент</u>	<u>А.В. Бобров</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>М.А. Покарева</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>зам. гл. инженера</u>	<u>А.А. Дербас</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2019

Аннотация

Данная магистерская диссертация содержит пояснительную записку, содержащую 77 страниц, 21 рисунок, 3 приложения, 20 источников.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная панель, солнечная электростанция, поликристаллическая панель, монокристаллическая панель.

Объектом исследования является: поликристаллические и монокристаллические солнечные панели.

Цель работы – формирование алгоритма прогнозирования выработки солнечной панелью с учетом типа панели.

Для достижения поставленной цели выполнен ряд задач:

- Провести анализ состояния и перспективы развития солнечной энергетики на территории России;
- Провести анализ существующих методик расчёта выработки электрической энергии солнечными панелями;
- Провести изменения фактической генерации электрической энергии монокристаллическими и поликристаллическими панелями в различных режимах работы;
- Провести сравнение характеристик монокристаллической и поликристаллической панелей, сформулировать алгоритм корректировки расчета выработки с учетом типа панели.
- Произвести расчёт выработки электрической энергии солнечными панелями для климатических условий г. Красноярска;

В результате работы были проведены исследования режимов работы солнечных панелей различных типов и смоделирован прогноз генерации в климатических условиях г. Красноярска.

Внедрение возобновляемых источников энергии в традиционные системы электроснабжения позволяет достигнуть значительного улучшения экономических показателей систем электроснабжения, оптимизировать режимы работы этих систем, сэкономить финансовые средства, технический ресурс энергетического оборудования и человеческие ресурсы.

При выполнении диссертационной работы были использованы законы физики, законы электротехники, методы теории вероятностей.

В ходе выполнения магистерской диссертации было использовано специализированное программное обеспечение: пакет ПО Microsoft Office, Компас, AutoCAD.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Состояние и перспективы развития солнечной энергетики.....	6
1.1 История развития мировой солнечной энергетики.....	6
1.2 Состояние солнечной энергетики в мире.....	13
1.3 Состояние солнечной энергетики в России.....	20
1.4 Солнечный потенциал на территории Красноярского края.....	25
1.4.1 Характеристика климата и солнечной радиации Красноярского края.....	25
1.4.2 Перспективы и проблемы использования солнечной энергетики на территории Красноярского края.....	31
2. Расчет выработки электрической энергии СП.....	35
2.1 Существующие методики.....	35
2.2 Методика расчета.....	37
2.3 Пример расчета для г. Красноярска.....	45
2.4 Анализ полученных результатов.....	45
3 Моделирование режимов работы на базе лабораторного стенда «Испытание солнечных панелей».....	46
3.1 Постановка энергетической проблемы, рассматриваемой на базе лабораторного стенда.....	46
3.2 Описание установки лабораторного стенда.....	49
3.3 Сравнение характеристик монокристаллической и поликристаллической панелей под нагрузкой.....	58
4. Алгоритм корректировки расчёта выработки и экономический расчет солнечных панелей	61
4.1 Разработка алгоритма корректировки расчета выработки с учетом типа солнечной панели.....	61

4.2	Расчёт экономической эффективности солнечной станции.....	62
4.2.1.	Расчёт экономической эффективности солнечной станции с использованием монокристаллических солнечных модулей.....	62
4.2.2.	Расчёт экономической эффективности солнечной станции с использованием поликристаллических солнечных модулей.....	64
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	67
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	68
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	69
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	71
	Расчёт потока солнечной энергии для г. Красноярска.....	71
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	75
	Характеристики солнечных модулей FSM 100P и FSM 100M от завода-изготовителя.....	75
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	77
	Стоимость солнечных модулей.....	77

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент во всём мире солнечной энергетике уделяют большое количество внимания, ведь энергетическая отрасль играет большое значение для экономического развития любой страны, особенно, если она имеет экологическое преимущество. В развитых странах уделяют большое внимание разработке систем на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе энергии Солнца.

В наше время этот вид энергии получил достаточное распространение, солнечные модули используются повсеместно, начиная от выработки электроэнергии и передачи ее в энергосистему и заканчивая электроснабжением личных изолированных бытовых энергосистем, а также питанием электроприборов и мелкой техники и электроники.

С целью изучения возможности использования солнечной энергии в Красноярском крае был создан экспериментально-исследовательский стенд на основе четырех солнечных панелей, выполняющий демонстрационную и обучающую функцию, позволяющего в полной мере ознакомиться с процессом превращения энергии Солнца в электрическую энергию.

1 Состояние и перспективы развития солнечной энергетики

1.1 История развития мировой солнечной энергетики

Солнечная энергетика-это отрасль науки и техники, разрабатывающая научные основы, методы и технические средства использования энергии солнечного излучения на Земле и в космосе для получения электрической, тепловой или других видов энергии и определяющая области и масштабы эффективного использования энергии солнца в экономике страны [2].

Согласно [18] развитие мировой солнечной энергетики началось очень давно. Ещё в седьмом веке до нашей эры энергия солнца использовалась для разведения огня с помощью лупы. Также греки и римляне использовали сжигающие зеркала для зажигания факела в религиозных целях. В 212 году до нашей эры греческий ученый Архимед использовал отражающие свойства бронзовых щитов, чтобы сфокусировать солнечный свет и поджечь деревянные корабли Римской империи, которые осаждали Сиракузы. (Хотя никаких доказательств этому не существует, греческий флот воссоздал эксперимент в 1973 году и успешно поджог деревянную лодку на расстоянии 50 метров.). До 1700-ых годов этапы развития солнечной энергетики не сильно отличались. Конечно, энергию солнца высоко ценили: так, бани у римлян имели большие окна на южную сторону, чтобы впустить тепло солнца; лоджии на дома и общественные здания были настолько распространены, что в кодексе Юстиниана было инициировано «право не солнце», чтобы обеспечить индивидуальный доступ к солнцу; предки Пуэбло – Анасази (Северная Америка),– строили свои жилища с южной стороны скал, которые захватывали зимнее солнце.

Уже в 1767 швейцарский учёный Орас де Соссюр построил первый в мире солнечный коллектор. Позже данный коллектор использовался Джоном Гершелем для приготовления пищи во время его экспедиции в Южной Африке в 1830-х. 27 сентября 1816 года, Роберт Стирлинг подал заявку на патент для своего экономайзера в канцелярии в Эдинбурге, Шотландия. Роберт Стирлинг был фактически министром в Церкви Шотландии, и он

продолжал предоставлять услуги, пока ему не исполнилось восемьдесят шесть лет! Но, в свое свободное время, он построил тепловой двигатель в его домашней мастерской. Лорд Кельвин использовал одну из рабочих моделей в некоторых своих университетских классах. Этот двигатель был позже использован в системе тарелка-двигатель Стирлинга, которая концентрирует тепловую энергию солнца для получения электрической мощности. В 1839 году французский ученый Эдмонд Беккерель обнаруживает фотогальванический эффект, экспериментируя с электролитической ячейкой, состоящей из двух металлических электродов, расположенных в электропроводящей среде – выработка электричества увеличивалась под воздействием света. В 1860 году Французский математик Август Муше предложил идею парового двигателя на солнечных батареях. В следующие два десятилетия, он и его помощник, Абель Пифре, построили первые солнечные двигатели и использовали их для различных приложений. Эти двигатели стали предшественниками современных параболических тарелок коллекторов. В 1873 году Уиллоуби Смит обнаружил фотопроводимость селена, а уже в 1876 году Уильям Гриллс Адамс и Ричард Эванс Дей обнаружили, что селен вырабатывает электричество при воздействии света. Хотя селен солнечных батарей не мог конвертировать достаточно солнечного света для питания электрооборудования, они доказали, что твердый материал может изменить свет в электричество без тепла или движущихся частей. В 1880 году Сэмюэль П.Лэнгли, изобретает болометр, который используется для измерения света от слабых звезд и тепло солнечных лучей. Он состоит из тонких проводов, подключенных к электрической цепи. Когда излучение падает на провод, он становится немного теплее. Это увеличивает электрическое сопротивление проволоки. Генрих Герц в 1887 году обнаружил, что ультрафиолетовый свет изменил низкие напряжения, способные вызвать искру между двумя металлическими электродами. В 1891 году Изобретатель из Балтимора Кларенс Кемп запатентовал первый коммерческий солнечный водонагреватель.

Заметный рост развития солнечной энергетики был выявлен после 1900-ых. В 1904-1905-гг Вильгельм Холлвокс обнаружил, что сочетание медь-окись меди является светочувствительной, в то же время Альберт Эйнштейн опубликовал работу о фотоэффекте (наряду с теорией относительности; также интересно, что Нобелевскую премию за свою теорию объяснения фотоэлектрического эффекта Альберт Эйнштейн получил лишь в 1921 г.). Чуть позже (в 1908 г.) Уильям Дж. Бейли из компании Carnegie Steel изобретает солнечный коллектор с медными катушками и изолированный ящик – грубо говоря, это настоящий дизайн. В 1916 году было замечено существование барьерного слоя в фотогальванических устройствах, а Роберт Милликен экспериментально доказал существование фотоэффекта. Наконец был разработан способ вырастить монокристаллический кремний по методу Чохральского.

Наконец в Соединённых штатах Америки появляются первые солнечные постройки. В 1947 году Пассивные солнечные постройки в Соединенных Штатах имели такой огромный спрос, как результат ограничения энергии в течение Второй Мировой войны, что Libbey-Owens-Ford Glass Company опубликовала книгу под названием «Ваш Солнечный Дом», которая описывала сорок девять наибольших архитекторов солнечных систем страны.

В 1950 солнечная энергетика сделала ещё один огромный скачок вверх. Родилась фотоэлектрическая технология, когда Дэрил Чапин, Кэлвин Фуллер, и Джеральд Пирсон разработали кремниевые фотоэлектрических (PV) ячейки в Bell Labs. Первые солнечные элементы способны превращать достаточно энергии солнца в энергию для запуска повседневного электрооборудования. Bell Telephone Laboratories производили кремниевые солнечные элементы с эффективностью 4%, а позже достигнута 11% эффективность. Western Electric начала продавать коммерческие лицензии для кремниевых фотоэлектрических (PV) технологий. Самые успешные продукты включали в себя PV-питание смен и устройств, которые

декодировали компьютерные перфокарты и ленты. Архитектор Фрэнк Бриджерс спроектировал первое в мире коммерческое офисное здание с использованием солнечного нагрева воды и пассивной конструкции. Эта солнечная система непрерывного действия и Bridgers-Пэкстон Building сейчас находятся в Национальном историческом регистре как первые в мире офисные здания с солнечным подогревом. Уильям Черри, U.S. Signal Corps Laboratories, вступил в переговоры с Полом Раппапортом и Иосифом Лоферски, RCA Labs, о разработке фотоэлементов для предлагаемых орбитальных спутников Земли. Hoffman Electronics достиг 10% эффективности фотоэлементов. Т. Манделкорн, U.S. Signal Corps Laboratories, изготавливает n-on-p кремниевые фотоэлектрические элементы (критически важные для космических солнечных батарей; более устойчивы к радиации). Космический спутник Vanguard I использовал маленький (менее одного ватта) массив для питания своих радиоприемников. В том же году, Explorer III, Vanguard II, и Спутник-3 были запущены с PV-питанием бортовых систем. Несмотря на прерывистые попытки коммерциализации кремниевых солнечных элементов в 1950-х и 60-х годах, они были успешно использованы в питании спутников. PV-панели приняты источником энергии для космических технологий. 7 августа спутник Explorer VI запущен с фотоэлектрической батареей на 9600 ячеек (1x2 см каждая). Затем, 13 октября, запущен спутник Explorer VII.

В 1960-ых годах началось массовое производство солнечных панелей по всему миру. Основана Silicon Sensors, Inc., Доджвиль, штат Висконсин. Она начинает производство селеновых и кремниевых фотоэлектрических ячеек. Корпорация Sharp преуспевает в производстве кремниевых фотоэлектрических модулей. В 1963 г. Япония устанавливает фотоэлектрическую батарею мощностью 242-ватт на маяк, крупнейшая в мире батарея в то время. NASA запускает первую орбитальную астрономическую обсерваторию на базе фотоэлектрической батареи мощностью 1 кВт, чтобы обеспечить астрономические данные в

ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах длин волн, которые отфильтровываются атмосферой Земли. В 1969 г. построена солнечная печь Odeillo, расположенная в Одеилло, Франция. Она имеет вид 8-этажного параболического зеркала.

В 1970 г. Доктор Эллиот Берман, с помощью Exxon Corporation, разработал более дешевые солнечные батареи, в результате чего цена снизилась со \$100/ватт до \$20/ватт. Солнечными батареями начинают снабжать световую сигнализацию и сирены на многих газовых и нефтяных платформах, маяки, железнодорожные переезды и домашние солнечные приложения стали рассматриваться как разумное применение в отдаленных местах, где подключение к сети не может быть осуществлено по доступной цене. В 1972 г. открывается институт преобразования энергии в университете штата Делавэр, выполняющий исследования и разработку тонкопленочных фотоэлектрических (PV) и солнечных тепловых систем, став первой в мире лабораторией, посвященной PV исследованиям и разработкам. В том же году Университет штата Делавэр строит "Solar One", одну из первых в мире резиденций, получающих питание от фотоэлектрической системы. Система является PV/тепловым гибридом. Вмонтированные в крышу батареи выдают избыточную электроэнергию в энергосеть через специальную утилиту в течение дня и из утилиты в ночное время. В дополнение к электричеству, батарея выступает в качестве плоских тепловых коллекторов, с вентиляторами, выдувающими теплый воздух из поверхности батареи. NASA Lewis Research Center начинает установку 83 фотоэлектрических систем на всех континентах, кроме Австралии. Эти системы обеспечивают таких разнообразных приложения, как освещение, освещение медицинских клиник, телекоммуникации, откачка воды, помол зерна и телевидение. Центр завершил проект в 1995 году, работая над ним от 1976-1985, а затем снова с 1992-1995 гг.

В 80-ых гг. ARCO Solar становится первой компанией, которая производит более 1 МВт фотоэлектрических модулей в год. Пол Маккриди

строит первый самолет на солнечных батареях – Solar Challenger, – который летит из Франции в Англию через Английский канал. Самолет имел более 16 тысяч солнечных ячеек, установленных на крыльях, которые вырабатывали 3000 Вт в 1981 г. А уже в 1982 г. Австралиец Ханс Золстрап управлял первым автомобилем на солнечных батареях – Quiet Achiever – почти 2800 миль между Сиднеем и Перте за 20 дней – на 10 дней быстрее, чем первые бензиновые машины. В том же году Volkswagen в Германии начинает тестирование фотоэлектрических элементов, установленных на крышах вагонов станции Dasher, генерируя 160 Вт для системы зажигания. В 1986 г. Был введен в эксплуатацию крупнейший в мире солнечный тепловой объект, расположенный в Kramer Junction, штат Калифорния. Солнечное поле, содержащее ряды зеркал, концентрирующих энергию солнца на систему труб по которым циркулирует жидкий теплоноситель. Жидкий теплоноситель был использован для производства пара, питающего обычные турбины для выработки электроэнергии.

В 2000-ых гг. Home Depot начинает продажи солнечных энергетических систем для дома в трех своих магазинах в Сан-Диего, штат Калифорния. Год спустя она расширяет продажи, включая 61 магазин по всей стране. Самолет НАСА на солнечных батареях – Helios, – устанавливает новый мировой рекорд для самолетов не с ракетным двигателем – 96863 фута, более 18 километров в высоту. Национальное агентство по космическому развитию Японии, или NASDA, объявляет планы по развитию спутниковой системы солнечной энергии, которая будет посылать энергию на Землю. Спутник, имеющий большие солнечные панели будет использовать лазер для передачи энергии дирижаблю на высоте около 12 миль, который затем передает мощность на Землю. Корпорация PowerLight вводит в действие на Гавайях крупнейшую гибридную систему в мире, которая сочетает в себе энергию ветра и солнца. Подключенная к сети система необычна тем, что мощностью её солнечной энергии – 175 кВт – больше мощности энергии ветра – 50 кВт. Такие гибридные энергетические

системы объединяют сильные стороны обеих энергетических систем, чтобы максимизировать доступную мощность. ATS Automation Tooling Systems Inc. в Канаде начинает коммерциализацию инновационного метода производства солнечных элементов, называемого сферической солнечной технологией. Технология на основе крошечных кремниевых шариков, расположенных между двумя листами алюминиевой фольги, обещает снизить затраты благодаря значительному снижению использования кремния по сравнению с обычными солнечными элементами из поликристаллического кремния. Технология не нова. Она была представлена Texas Instruments (TI) в начале 1990-х. Но, несмотря на финансирование Министерства энергетики США (DOE), TI утратила инициативу.

В 2007 г. Ватикан объявил, что в целях экономии ресурсов Земли они будут устанавливать солнечные панели на некоторых зданиях, в рамках "комплексного энергетического проекта, который окупится через несколько лет". Начинается проект Google по солнечным батареям.

В 2008 г. достигнут новый рекорд солнечных фотоэлементов. Ученые из Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии (NREL) Министерства энергетики США установили мировой рекорд эффективности солнечных элементов с фотоэлектрическим устройством, которое преобразует 40,8 процентов света в электричество. Была разработана перевернутая метаморфическая трех переходная солнечная батарея, изготовлена и независимо оценена при Национальной лаборатории возобновляемых источников энергии.

Однако в это время была также актуальна проблема дорогой стоимости солнечных панелей. Поэтому в 2011 быстрорастущие заводы в Китае дали толчок производству более дешевых панелей (около \$1,25/Вт для кремниевых фотоэлектрических модулей). Они поставили на мировой рынок свои дешевые панели и ряд европейских и североамериканских заводов оказались вне бизнеса.

1.2 Состояние солнечной энергетики в мире

На данный момент во всём мире солнечной энергетике уделяют большое количество внимания, ведь энергетическая отрасль играет большое значение для экономического развития любой страны, особенно, если она имеет экологическое преимущество. В развитых странах уделяют большое внимание разработке систем на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе энергии Солнца. Как правило, в создании таких систем вкладываются значительные средства из государственного бюджета, действуют многочисленные налоговые льготы. Широкому внедрению солнечной энергетике препятствует ее дороговизна. Это представление въелось в общественное сознание, что использование энергии Солнца относят к далекому будущему, не отрицая при этом перспективности использования солнечной энергии для локальных нужд. Для ее оценки необходимо принимать во внимание существующие тенденции изменения цен энергии, получаемой от Солнца и традиционных источников. Сегодня ввиду уменьшения энергетических полезных ископаемых, а именно уменьшения запасов нефти, угля и природного газа возникают серьезные проблемы. Для решения этой задачи в последние 20–30 лет доля солнечной энергетике должна возрасти до 25%. К 2050 году снабжение солнечной энергии может достичь 20–25%, к концу века солнечная энергетика может составить 60% общей энергопотребления [15]. Уже на сегодня стоимость энергии, получаемой с помощью преобразования солнечной энергии термодинамическим методом, приблизилась к стоимости энергии тепловых станций. На мировом рынке производство кремния растет в последнее время примерно 30% ежегодно, но этого недостаточно для обеспечения потребностей производителей фотоэлектрических и полупроводниковых приборов. Дефицит кремния приводит к росту цен на него.

В настоящее время метод фотоэлектрического преобразования (ФП) в мире стал одним из приоритетных направлений получения солнечной электроэнергии: максимальную экологическую чистоту преобразования

энергии, возможность получения энергии практически в любом районе, значительный срок службы, малые затраты на обслуживание, независимость эффективности преобразования солнечной энергии от установленной мощности:

— Одним из перспективных направлений повышения эффективности фотоэлектрических систем, полученных в настоящее время, является использование в процессах фотопреобразования уникальных свойств эффекта мультиэкситонной генерации (МЭГ) [16].

— Достаточно перспективным направлением снижения стоимости солнечных элементов при использовании в наземных условиях является применение отходов полупроводникового кремния заводов электронной промышленности в качестве исходного материала. Этот путь создает предпосылки к использованию отбракованных при производстве полупроводниковых пластин монокристаллического кремния для выпуска более дешевых солнечных элементов. Количество таких пластин хотя ограничено, тем не менее, для применения в мелкосерийном опытно-производстве вполне достаточно. На имеющемся в республике промышленном оборудовании возможно производство солнечных элементов на основе пластин монокристаллического кремния, отбракованных в электронной промышленности с КПД до 20%. Подсчитано, что при выпуске солнечных элементов мощностью до 500 кВт в год, производство фотомодулей в республике считается рентабельным.

Другим достаточно перспективным направлением снижения стоимости солнечных элементов при использовании в наземных условиях является применение отходов полупроводникового кремния заводов электронной промышленности в качестве исходного материала. Этот путь создает предпосылки к использованию отбракованных при производстве полупроводниковых пластин монокристаллического кремния для выпуска более дешевых солнечных элементов. Количество таких пластин хотя

ограничено, тем не менее, для применения в мелкосерийном опытно-производстве вполне достаточно.

На данный момент не менее чем в 30 странах энергия солнечных панелей становится дешевле.

В 2016 году в США мощность введенных в эксплуатацию солнечных станций достигла 95% и составила 14,5 гигаватт. Последнее исследование рынка солнечной энергетики в США, проведенное компанией GTM Research и Ассоциацией солнечной энергетики (SEIA) показывает, что 2016 год превзошел все ожидания роста солнечной генерации даже на фоне рекордного предыдущего года. В 2015 году прирост мощностей составил 7,5 гигаватт. В минувшем году на долю солнечной энергии пришлось 39% прироста мощностей в отраслях новой энергетики. Самым удачным для энергетиков стал четвертый квартал, в котором они запустили агрегаты мощностью 4,8 гигаватт.

«Эти цифры показывают, что с солнечной энергетикой придется считаться», - отмечает Эбигейл Росс Хоппер, возглавляющая SEIA. «Экономически выгодное производство сделало её лидером среди всех сегментов рынка и обеспечивает занятость 280 тысяч американцев».

На самом деле, минувший год стал весьма успешным для производителей электроэнергии из всех возобновляемых источников. Так, к 39% прироста, полученного от солнечной энергетики, стоит добавить 26% роста мощности ветрогенераторов.

Кори Ханимэн, возглавляющий в GTM Research подразделение солнечной энергетики, подчеркнул небывалые темпы распространения использования этого вида генерации. «Панели мощностью минимум в 100 мегаватт были введены в действие в 22 штатах страны. Солнечная энергетика демонстрирует свою конкурентоспособность в сравнении с другими источниками, и, прежде всего, природным газом», - заявил Ханимэн.

В США солнечные батареи активно используются как в жилых домах (около 53% всех мощностей), так и в производственных помещениях. В ряде

штатов, лидером среди которых является Калифорния, источники солнечной энергии закладываются уже на стадии проектировки зданий.

Япония была первой страной, в которой развитие солнечной энергетики было поддержано на правительственном уровне [8]. Япония является одним из лидеров в производстве солнечных батарей и входит в пятерку стран-лидеров в развитии солнечной энергетики (6,6% мировых мощностей, табл. 1.1), чему способствует и весьма высокий уровень инсоляции в стране.

Таблица 1.1 – Суммарные мощности фотоэлектрических установок.

№	Страна	Суммарные мощности, ГВт
1	Германия	32,51
2	Италия	16,98
3	Китай	8,04
4	США	7,66
5	Япония	6,70
6	Испания	4,51
7	Франция	3,84
8	Бельгия	2,60
9	Австралия	2,29
10	Чехия	2,02
11	Великобритания	1,83
12	Индия	1,83
13	Весь мир	102,2

*Составлено по данным Global Market Outlook for Photovoltaics

До недавнего времени японский фотовольтаический рынок, как уже отмечалось, был ориентирован сугубо на потребительский сегмент. Однако после землетрясения 2011 г. было запущено три солнечных электростанции: Ukishima Solar Power Plant (7 МВт), Ogishima Solar Power Plant (13 МВт) и Komekurayama Solar Power Plant (10 МВт), а в октябре 2012 г. была одобрена установка 1,8 ГВт фотовольтаических мощностей, из них 341 МВт – на Хоккайдо. Все это соответствует современной глобальной тенденции перехода к мегапроектам. Японская строительная корпорация «Симидзу», имеющая более чем 200-летнюю историю и работающая под девизом «Сегодняшняя работа –

завтрашнее наследие», разработала оригинальную концепцию «Лунное кольцо», суть которой заключается в выработке с помощью прогрессивных космических технологий солнечной энергии на Луне и передаче электроэнергии на Землю⁴⁸. Реализация такого проекта (компания надеется это сделать к 2035 г.) позволила бы получать чистую энергию без перерывов, независимо от погодных условий и использовать ее в любой точке Земного шара. В соответствии с данным планом, вокруг всей длины экватора Луны (11 тыс. км) будет создано кольцо, состоящее из солнечных батарей, вырабатывающих постоянный поток энергии. Электроэнергия, произведенная солнечными батареями, будет передаваться с помощью кабелей к передающим станциям, расположенным на лицевой стороне Луны. Там эта энергия будет преобразовываться в микроволновое излучение и лучи лазерного света, и с помощью специальных антенн диаметром в 20 км излучаться в направлении Земли, где затем будет выполняться обратное преобразование полученной энергии в электрическую. Последняя будет поставляться в сети энергоснабжения или использоваться для получения водорода для хранения или использования в качестве топлива.

В результате пересмотра программы субсидирования солнечной энергетики и введения в 2012 г. тарифа, в четыре раз превышающего среднемировой, в Японии наблюдается быстрое увеличение солнечных мощностей, так называемый «солнечный бум», благодаря чему она стала одним из мировых лидеров в фотовольтаике. Несмотря на то, что нехватка солнечных фотоэлементов, кризис перепроизводства в других производственных сегментах создания конечной солнечной установки (производство поликремния,, фотоэлектрических преобразователей и т.д.), а также раздробленность энергосистемы страны, могут привести к определенным трудностям энергетических компаний, генерирующих электроэнергию из энергии Солнца, можно полагать, что в Японии будет продолжаться наращивание фотовольтаических и гелиотермальных мощностей. Очевидно, что фактический прорыв в солнечной энергетике уже

произошел (хотя полное замещение ископаемых энергоресурсов возможно только при экспоненциальном технологическом и экономическом развитии), и Япония, учитывая ее высокую импортную зависимость от поставок энергетического сырья и проблемы, возникшие в результате катастрофы 2011 г., будет, несомненно, претендовать на вхождение в число лидеров.

Абсолютный лидер по развитию солнечной энергетики – Германия (Таблица 1.1). В Германии более 10% сгенерированной электроэнергии составляет солнечная энергетика. Развитие солнечной энергетики обладает высокой поддержкой со стороны государства и населения. В Германии действует закон согласно которому каждый генерируемый кВт*ч продаётся по установленному «зеленому тарифу» (EEG-Vergütung). Заметим, что «зеленый тариф» для самых маленьких установок (до 10 кВт) примерно на 40-45% больше, чем для промышленных солнечных парков (свыше 500 кВт). Стоит отметить тенденцию к снижению стоимости солнечных элементов. Так называемый, закон Суонсона (Swanson's law), характеризующий линейное падение стоимости солнечных элементов вплоть до 2014 года также неспособен переломить падение инвестиций и простимулировать рост установленной мощности. Кстати, Около 90% всех солнечных панелей в Германии расположены на крышах домов. Солнечные батареи устанавливаются даже в маленьких деревнях, на фермах, заводах, административных зданиях, но особенно — в частном секторе. Современные архитекторы даже дома проектируют так, чтобы крыша смотрела на юг (Рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Расположение солнечных панелей на крышах домов в Германии

Пример Германии доказывает, что возобновляемые источники энергии могут покрывать существенную часть потребностей даже такой крупной страны. Генерация солнечной энергии имеет сезонный характер, но хорошо сочетается с ветровыми установками, что даёт в целом стабильный поток. Например, статистика за январь-май 2014 г. показывает вполне стабильную ежемесячную выдачу от солнечных батарей и ветровых установок, в сумме (Рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Статистика выдачи электроэнергии от солнечных батарей и ветровых установок в Германии

Опыт вышеназванных стран показывает, что при определенных климатических, экономических и политических условиях солнечная энергетика уже сегодня может стать реальным конкурентом традиционной энергетике.

1.3 Состояние солнечной энергетики в России

Россия – энергетическая держава, в недрах которой, по оценкам международных экспертов сосредоточено около четверти из 185 трлн м³ мировых запасов природного газа, 6% из 171 млрд.т. мировых запасов нефти и около 30 % запасов угля. По добыче нефти и газа Россия занимает одну из лидирующих позиций в мире. В России ежегодно извлекается 450–490 млн. т нефти, что составляет около 12 % ежегодной мировой добычи, и более 600 млрд. м³ природного газа в год, или около 20 % мировой добычи [4]. Тем не менее, очевидно, что запасы нефти и газа безграничны, на разведку и освоение новых месторождений требуются все возрастающие затраты. Уже сегодня необходимы разработки, направленные на совершенствование топливно-энергетического баланса, повышение эффективности использования энергетических ресурсов, диверсификацию первичных источников энергии и тем самым на сокращение долей потребления нефти, газа и угля. Несмотря на кажущуюся обеспеченность запасами органического топлива в России уже сегодня имеются предпосылки и обширные ниши для эффективного применения ВИЭ, прежде всего в районах, удаленных от централизованных систем энергоснабжения, которые могут быть существенно расширены в случае целенаправленной реализации принятых в последнее время руководством страны решений по повышению энергоэффективности экономики и стимулированию развития альтернативных источников энергии.

В зоне автономного энергоснабжения для многих районов России представляет интерес, прежде всего, использование автономных ветровых и солнечных установок, а также биомассы (древесные, сельскохозяйственные и другие отходы).

Целесообразность использования здесь ВИЭ обуславливается проблемами завоза топлива и весьма высокой стоимостью электрической и тепловой энергии, получаемых в ряде отдаленных от сетей

централизованного энергоснабжения районов с помощью дизельных двигателей и котельных на дорогом жидком топливе.

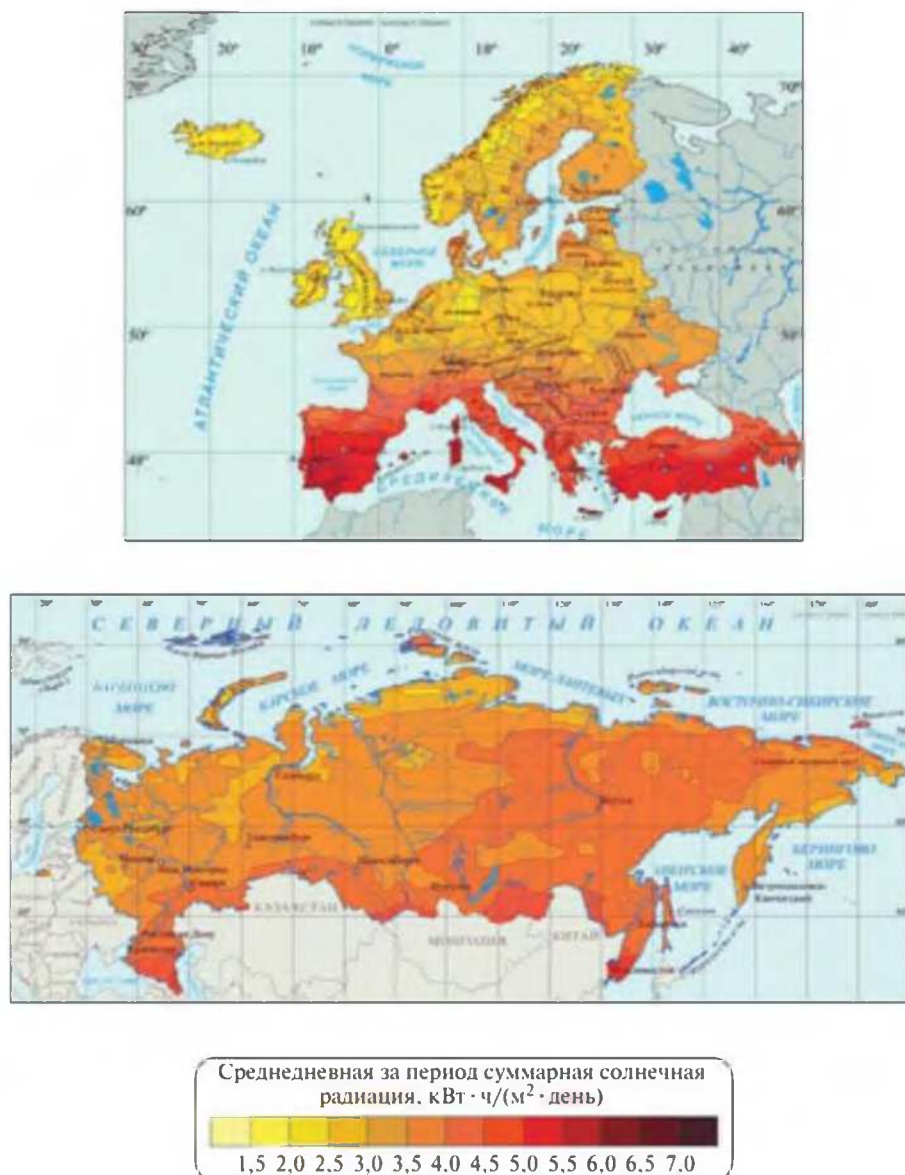


Рисунок 1.3 – Суммарная среднедневная солнечная радиация

По имеющимся данным, во многих северных и горных районах страны стоимость электроэнергии достигает 17–25 руб./кВтч, при которой энергоустановки на ВИЭ оказываются вполне конкурентоспособными.

Вопреки существующим представлениям о том, что Россия, расположенная преимущественно в средних и высоких широтах, не относится к «солнечным» регионам, недавние исследования, выполненные в ОИВТ РАН, показали, что многие районы страны характеризуются среднегодовыми дневными поступлениями солнечной радиации на уровне 4–

5 кВтч/м² и выше, что соответствует регионам мира, в частности, большей части территории Европы (рис. 1.3), где солнечные установки уже находят широкое применение.

На оценку потенциала отрасли солнечной энергетики влияют несколько факторов, среди которых можно выделить природный и научный потенциал, а также государственную поддержку отрасли. С точки зрения природного потенциала и ресурса солнечной инсоляции (уровень солнечной энергии приходящейся на 1 кв. м земной поверхности), часть территорий России соответствует тем странам, где солнечная энергетика развивается бурными темпами (Германия, Италия, Испания). Южные территории нашей страны, регионы Забайкалья и Дальнего Востока, обладают большим потенциалом солнечной энергетики, способным обеспечить России ведущие позиции в мировой отрасли ВИЭ и в то же время решить текущие задачи по энергоснабжению труднодоступных и изолированных территорий. Поэтому с точки зрения природного потенциала здесь, безусловно, нет никаких ограничений. Однако доля ВИЭ в общем энергобалансе России в настоящее время не превышает 0,5%. Данный показатель в отдельных странах (Германия, Дания) уже превышает 20%.[3]. Для полноценного развития научного потенциала и отрасли солнечной энергетики помимо природных условий нужна сильная государственная поддержка, которая в России почти полностью отсутствует. Комплексное развитие инновационного сектора возобновляемой энергетики и введение в эксплуатацию мощностей солнечной генерации в нашей стране в основном сдерживает отсутствие нормативно-правовой базы.

Существует ряд подзаконных актов, касающихся развития отрасли, а также постановление правительства № 426 «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии», кроме того, есть распоряжение правительства (от января 2009 года) об утверждении целевых показателей по увеличению к 2015 и 2020 годам доли ВИЭ в общем уровне российского энергобаланса до

2,5% и 4,5% соответственно. Однако все эти документы так и остаются на уровне деклараций и на самом деле не работают.

Для достижения утвержденных правительством целевых показателей нужен прежде всего четкий механизм стимулирования возобновляемой энергетики, и в частности солнечной энергетики. Например, введение специальных тарифов и специальных условий для участия объектов генерации на основе ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии (мощности), введение действующего инвестиционно-налогового кредита (который, например, в Америке для солнечных электростанций составляет 30% – любой девелопер солнечной станции получает 30% обратно в виде налогового вычета или единовременного гранта, то есть государство возвращает часть вложенных средств в проект), федеральная программа, которая будет запускать пилотные проекты за счет государственных средств. Существует широкий набор действенных мер государственной поддержки, результаты введения которых привели к существенному макроэкономическому эффекту в зарубежных странах. И все-таки мы надеемся, что с учетом поставленных целей правительство в ближайшее время утвердит подробный план мероприятий по достижению вышеуказанных целевых показателей по развитию использования ВИЭ, чтобы эксперты могли включаться в работу на уровне рабочих групп. Подобные предложения уже направлялись в Минэнерго, но пока остаются без ответа.

Кроме того, в настоящее время идет активное формирование бизнес-сообщества (помимо Ассоциации солнечной энергетики России был создан Союз производителей и продавцов средств альтернативной энергетики и транспорта). Компании, консультанты и другие игроки рынка объединяются для защиты своих интересов и эффективного развития отрасли. Подобные объединения могут помочь государству разработать грамотные и эффективные меры поддержки отрасли. Очень важно, чтобы господдержка была выработана в ходе поиска компромиссного решения, то есть такая

поддержка, которая бы соответствовала поставленным целям, позволила бы государству достичь этих 4,5% и 2,5% к 2015 году и при этом не «перегрела» бы рынок и соответствовала ожиданиям инвесторов. Для этого и нужны бизнес-сообщества и некоммерческие сообщества, которые могут предоставить актуальную информацию, привлечь международный опыт и аргументировать позицию.

Несмотря на отсутствие господдержки развития отрасли, в России уже существует несколько серьезных игроков рынка. К крупным пока можно отнести только компанию «Хевел», которая сейчас строит завод с планами по выпуску тонкопленочных солнечных модулей в объеме 130 МВт в год, среди игроков меньшего масштаба можно отметить научно-производственное предприятие «Квант», Рязанский завод металлокерамических приборов (выпускает 12 МВт солнечных панелей в год), а также завод компании «Нитол» в Усолье-Сибирском (производство поликремния для изготовления солнечных модулей).

1.4 Солнечный потенциал на территории Красноярского края

1.4.1 Характеристика климата и солнечной радиации Красноярского края

Красноярский край по территориальным размерам занимает второе место, уступая Республике Саха. Крайние районы Красноярского края проходят по краевым линиям разграничения Восточной Сибири и вытягиваются почти на 3,000 км с севера на юг. На севере подымается плато Путорана, а южная граница упирается в Алтае-Саянскую горную гряду. Самая высокая точка края – гора Камень, высота которой 1 701 м. По всей территории региона протекает крупная река Енисей. По левую сторону от потока располагается Западно-Сибирская низменность, а на правой находится Среднесибирское плоскогорье. Северные берега омываются двумя морями: Лаптевых и Карским. К Краснодарскому краю относят и острова, которые находятся в акватории Северно-Ледовитого океана. На территории края располагается географический центр России вблизи озера Виви. Крайняя северная точка Федерации также расположена в регионе – это мыс Челюскин[9].

Климат региона разнообразный. Красноярский край, площадь которого захватывает умеренный, субарктический и арктический климатические пояса, разделяют на 5 областей. Самый суровый климат в северной области. Высокие морозные температуры, холодная ветреная зима, короткое лето. На Таймырском полуострове практически всегда минусовая температура воздуха, даже летом она часто бывает ниже нуля. На островах, находящихся в акватории океана, морозный период продолжается круглый год, а земля покрыта снегами. В центральной, западной и восточной частях региона короткое жаркое лето с сухим климатом, долгая суровая зима. Южные же отличаются от остальных своим теплым климатом и умеренно холодной зимой.

Согласно [6] описание радиационного и светового режима приводится по данным наблюдений метеорологической станции Солянка. Продолжительность солнечного сияния определялась по данным станции Красноярск.

ГОД

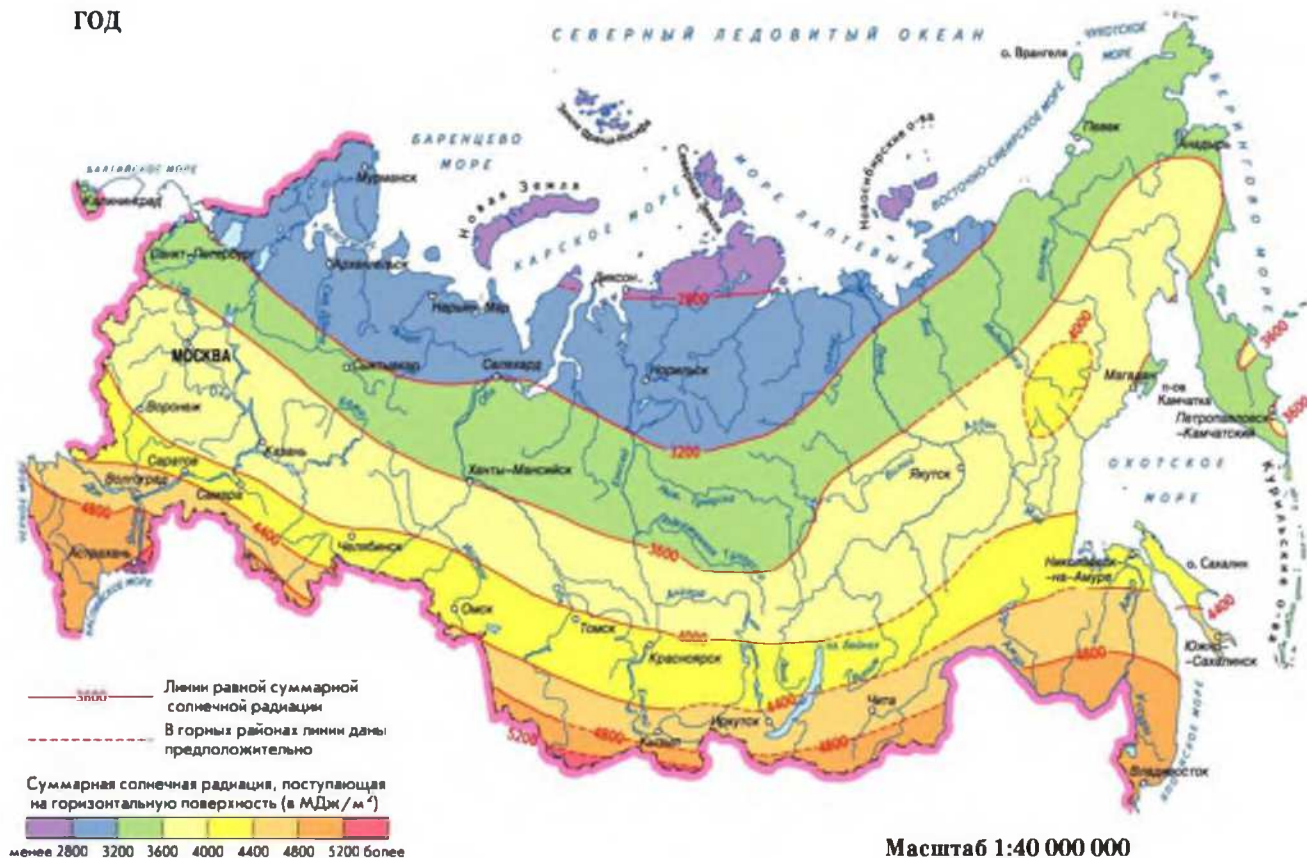


Рисунок 1.4 – Суммарная солнечная радиация России

Поступление солнечной радиации к земной поверхности определяется в первую очередь астрономическими факторами — временем восхода и захода солнца, его перемещением по небосводу в течение дня. При закрытости горизонта строениями и деревьями время восхода может быть более поздним, а время захода более ранним, чем по астрономическим данным. На рис. 1.4 представлены суточный ход высоты солнца и закрытость горизонта. По графику (рис. 1.4) можно найти приближенно продолжительность любого дня.

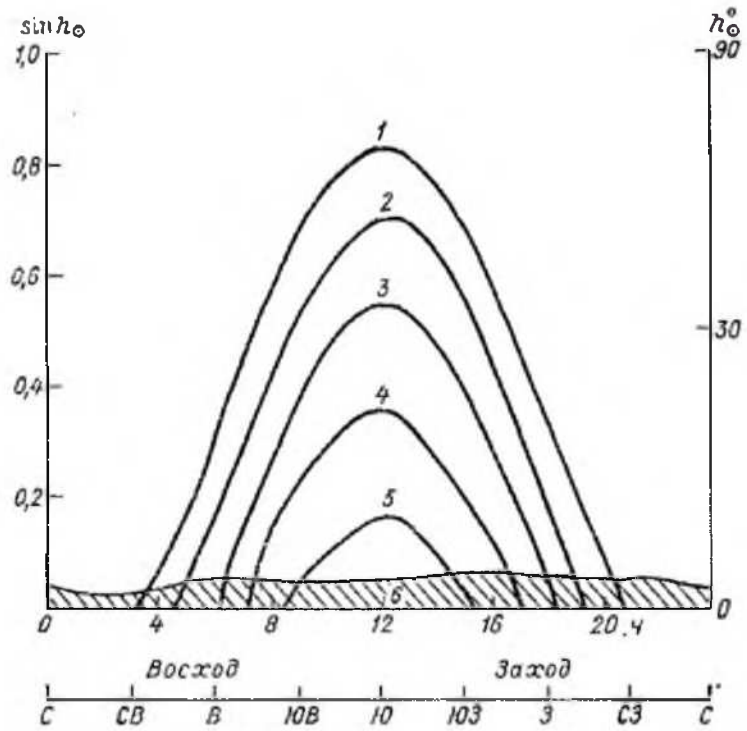


Рисунок 1.5 – Суточный ход высоты солнца и график закрытости горизонта
 1 — $6=23^\circ$ (17—26 июня); 2 — $6=12^\circ$ (22 апреля и 22 августа); 3 — $6=0^\circ$ (21 марта и 23 сентября); 4 — $6=12^\circ$ (17 февраля и 25 октября), 5 — $6=23^\circ$ (17—25 декабря); 6 — график закрытости горизонта.

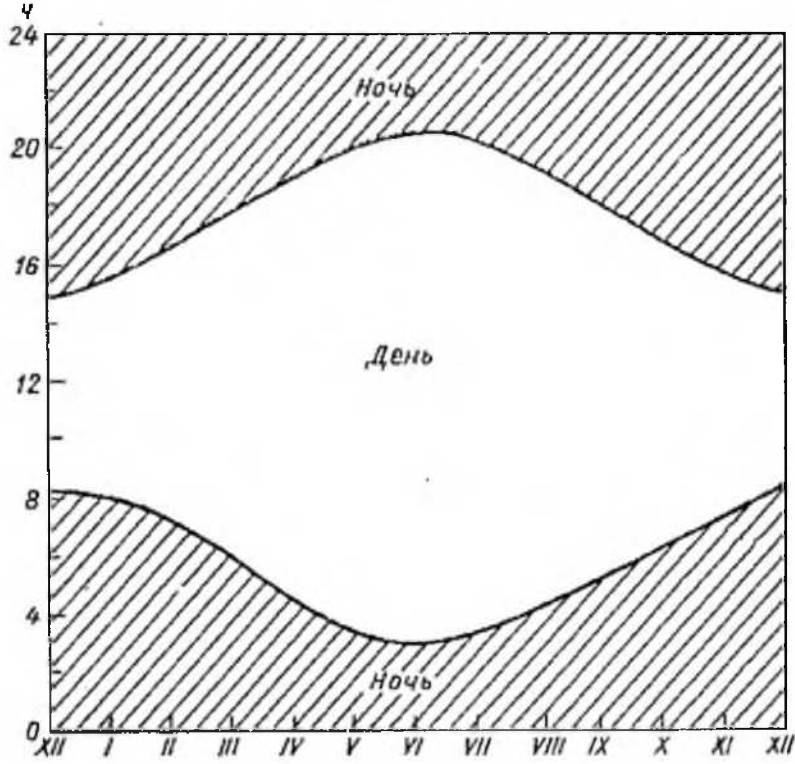


Рисунок 1.6 – Продолжительность (ч) дня и ночи.

Средняя продолжительность солнечного сияния за год в Красноярске составляет 1833 ч. Фактическая продолжительность солнечного сияния в отдельные годы может значительно отклоняться от средней многолетней. Например, в 1965 г. число часов солнечного сияния увеличилось до 2127, а в 1972 г.— уменьшилось до 1570. В декабре наблюдаются минимальные значения продолжительности солнечного сияния. Наименьшие значения наблюдались в 1949 г. (9 ч при средней продолжительности солнечного сияния в этом месяце 33 ч). Минимум в декабре вызван наименьшей продолжительностью дня и наибольшей вероятностью пасмурного состояния неба.

Весной, в связи с увеличением продолжительности дня и уменьшением облачности, число часов солнечного сияния увеличивается. Отношение наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной (расчетной) заметно возрастает. В июне наблюдается максимальное число часов солнечного сияния. Среднее его значение составляет 278 ч, максимальное 356 ч.

Максимальная продолжительность солнечного сияния в течение всего года наблюдается между 11 и 13 ч, в этом интервале она составляет в среднем за месяц 20—22 ч (табл. 1.4.1.1). Чаще всего солнце непрерывно светит по 2—6 ч, и только в 3 % всех случаев в июне непрерывная продолжительность солнечного сияния составляет 16—18 ч в день (табл. 1.4.1.2)

Таблица 1.2 – Суточный ход продолжительности солнечного сияния (число часов за месяц для каждого часового промежутка)

Время (ч)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
3-4					0,1	1,2	0,5						2,0
4-5				0,1	4,6	10,9	8,4	0,9					25
5-6			0,0	5,0	12,1	15,4	14,8	8,0	0,7				56
6-7		0,3	3,0	11,4	15,7	17,4	17,2	13,7	6,6	0,4			86
7-8		1,3	9,4	14,8	18,1	18,8	18,8	15,9	11,7	4,2	0,1		113
8-9	1,1	6,0	14,7	16,6	18,7	20,0	19,6	17,3	13,8	8,1	2,2	0,1	138
9-10	5,5	10,3	16,9	17,7	19,0	20,3	20,3	18,2	14,6	10,3	5,3	2,6	161
10-11	8,9	13,0	18,7	18,2	19,2	20,2	20,6	18,6	15,2	11,4	7,8	5,7	178

Продолжение таблицы 1.2 – Суточный ход продолжительности солнечного сияния (число часов за месяц для каждого часового промежутка)

11-12	10,6	14,3	18,9	18,8	19,0	20,4	20,5	18,4	15,5	11,8	9,3	7,7	185
12-13	11,6	14,1	18,9	18,5	19,2	20,2	20,5	17,1	15,4	11,6	9,8	8,4	185
13-14	10,9	13,7	18,2	18,2	18,1	19,8	19,7	17,0	15,4	11,5	9,0	7,8	179
14-15	7,8	11,6	17,0	17,5	18,0	18,6	19,3	16,8	15,1	10,7	7,3	3,3	163
15-16	1,3	7,9	15,3	16,6	17,7	17,9	18,3	16,6	14,8	9,1	2,5		139
16-17		1,5	11,8	15,2	16,6	16,8	17,7	16,6	13,6	3,6	0,0		114
17-18			3,7	12,9	14,8	15,9	16,4	15,2	9,0	0,2			89
18-19			0,1	5,4	12,7	11,2	13,8	9,9	1,0				59
19-20				0,1	5,0	1,3	8,4	1,1					26
20-21					0,1		0,5						2

Таблица 1.3 – Повторяемость непрерывной продолжительности солнечного сияния по градациям (% общего числа случаев непрерывного солнечного сияния)

τ, ч	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
≤2	2	2	1	2	1	2	2	1	0	4	6	4
2,1-4,0	42	31	28	28	33	31	32	38	32	33	42	62
4,1-6,0	43	27	21	19	16	20	19	20	16	18	35	34
6,1-8,0	13	33	15	10	12	11	18	10	12	19	17	
8,1-10,0		7	24	10	12	9	9	7	12	25		
10,1-12,0			11	12	9	7	5	8	23	1		
12,1-14,0				19	10	7	7	16	5			
14,1-16,0					7	10	7	0				
16,1-18,0						3	1					

Число дней без солнца, т. е. дней, когда солнечные лучи в дневное время не достигают поверхности земли из-за облачности и тумана, характеризует условия освещенности. В среднем за год наблюдается 75 дней без солнца. Минимальное число дней без солнца летом в среднем не превышает четырех. С апреля по сентябрь отмечены годы, когда в течение месяца все дни были солнечные (1971, 1973). Зимой число дней без солнца увеличивается в среднем до 22. Максимальное число таких дней в январе и декабре в отдельные годы (1949, 1960) достигало 24—27.

Таблица 1.4 – Число дней n без солнца

Месяц	n	σ	$n_{\text{макс}}$	Год	$n_{\text{мин}}$	Год
I	14	4,0	24	1960	3	1963
II	8	2,7	12	1972	2	1968
III	4	2,0	9	1974	0	1958
IV	2	1,4	6	1941	0	1970
V	2	1,1	4	1941	0	1971
VI	1	0,8	3	1972	0	1973
VII	1	1,4	5	1971	0	1973
VIII	2	1,5	5	1973	0	1971
IX	3	2,5	12	1955	0	1966
X	8	3,3	14	1952	1	1968
XI	13	3,4	20	1960	8	1965
XII	17	3,8	27	1949	8	1967
Год	75	13,0	96	1972	45	1963

В актинометрии используют две характеристики радиации:

- 1) интенсивность (плотность потока),
- 2) сумма радиации за час, месяц или год.

Интенсивность измеряют в калориях на квадратный сантиметр в минуту [кал/(см²*мин)], или в ваттах на квадратный метр (Вт/м²), а сумму — в калориях и килокалориях на квадратный сантиметр (кал/см², ккал/см²), килоджоулях и мегаджоулях на квадратный метр (кДж/м², М Дж/м²). Для перехода единиц, включающих калорию, к единицам Международной системы (СИ) используют следующие соотношения:

$$1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 0,698 \text{ кВт}/\text{м}^2;$$

$$1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 41,9 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2 = 41,9 \text{ кДж}/\text{м}^2;$$

$$1 \text{ ккал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{м}^2 = 41,9 \text{ МДж}/\text{м}^2.$$

Различают несколько видов радиации. Прямая солнечная радиация S' — это радиация, доходящая до места наблюдения в виде параллельных лучей, которые исходят непосредственно от солнца. Проходя через атмосферу, солнечная радиация частично рассеивается воздухом и взвешенными в нем твердыми и жидкими частичками (аэрозолем), особенно сильно она рассеивается облаками. Ту часть

солнечной радиации, которая поступает к земной поверхности после рассеяния в атмосфере, называют рассеянной радиацией D . Общий приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность состоит из прямой и рассеянной радиации и называется суммарной радиацией $Q = S' + D$. Средняя годовая сумма Q в Красноярске равна 4021 МДж/м².

1.4.2 Перспективы и проблемы использования солнечной энергетики на территории Красноярского края

В Красноярском крае по инициативе Росатома, Минэкономразвития и администрации Красноярского края будет создан инновационный кластер «Солнечная энергетика».

На рисунке 1.7 можно рассмотреть программу развития инновационного кластера солнечной энергетики на 2011-2025 гг.

Сроки исполнения		2014	2017	2020	2025
Основные показатели программы					
Производительность предприятий кластера, в год	Поликристаллический кремний, т	3 600	12 500	25 000	50 000
	Слитки, пластины, солнечные элементы, МВт	500	2 000	4 500	10 000
Электрические мощности для инфраструктуры производства, МВт	Поликристаллический кремний	50	150	250	500
	Слитки, пластины, солнечные элементы	50	150	250	500
	Итого	100	300	500	1 000
Расход электроэнергии производствами кластера, млн. кВт *ч /г		700	2 200	4 000	8 000
Суммарные инвестиции в производства кластера без стоимости затрат на инфраструктуру, млн. USD		800	+1800 =2600	+2100 =4700	+3500 =8300
Суммарный доход предприятий кластера, млн. USD		500	1 600	3 200	6 500
Численность работающих		1 000	3 000	5 000	7 000

Рисунок 1.7 – Программа развития инновационного кластера солнечной энергетики до 2025 г.

I Первый этап: Программы развития солнечного кластера

а) Основные параметры этапа:

– объём производства поликристаллического кремния – 3 600 т в г.;

- потребность в финансировании – 400 млн. долл.;
- срок окупаемости – 6 лет.

б) Реализация этапа предполагается на действующей производственно базе и инфраструктур:

- комплекс из 14 зданий;
- трансформаторная подстанция мощностью 40 МВт;
- системы обратного водоснабжения, нейтрализации и утилизации отходов производства;
- склады для приёма сырья;
- персонал.

в) Соисполнители программы этапа:

- GEC GmbH (Германия) – производитель и поставщик основного технологического оборудования (составлен полный список требуемого оборудования);
- EPC Group (Германия) – инжиниринговая компания (завершен предварительный инжиниринг 1 этапа проекта)
- ОАО «Гиредмет» (Россия, Росатом) – генеральный проектировщик (проработана технологическая концепция).

Срок реализации данного этапа – 24 месяца с начала финансирования.

21 октября 2008 года премьер-министр РФ Владимир Путин поручил инициаторам проекта прояснить финансовую сторону проекта. По его словам, необходимо разработать предложения по реализации проекта в целом, а также по поискам источников финансирования. Кластер будет включать в себя цепочки инновационных наукоемких производств, конечным продуктом которой является создание солнечных батарей.

В Красноярском крае уже созданы предпосылки для реализации проекта: имеется первичное сырье — поликремний, технологии для его глубокой переработки, а также научно-технический и организационный потенциал для создания производства компонентов солнечной энергетики. В Железногорске

запущен завод по производству поликремния. Объемы производства этого технологичного сырья планируется постепенно увеличивать. Проектная мощность производства рассчитана на выпуск около 2 000 тонн поликристаллического кремния солнечного качества. Для достижения проектных объемов потребуются инвестиции в размере 35 млрд. рублей. Инвестировать в проект предполагают государственная корпорация «Росатом» и федеральное космическое агентство (Роскосмос), интерес к проекту проявили серьезные зарубежные инвесторы.

Следующим звеном кластера станет Красноярский завод цветных металлов и золота, находящийся в собственности региона. Здесь уже освоено производство следующего этапа — монокристаллического кремния.

Для завершения цепочки потребуется строительство совершенно нового высокотехнологичного предприятия, которое будет производить фотоэлементы из монокристаллического кремния и собирать конечный продукт — солнечные батареи. Это производство губернатор края предлагает разместить в портовой особой экономической зоне (ПОЭЗ), создающейся в ареоле красноярского аэропорта. Такое решение позволит более эффективно инвестировать в высокотехнологичное оборудование, которое потребуется доставить в край для создания производства, а также облегчит экспорт готовой продукции иностранным потребителям.

Проект «солнечного кластера» предполагает создание в крае 5000 высокооплачиваемых рабочих мест, главным образом, потребуется инженерно-технический персонал. Реализация проекта позволит получать 10 млрд. рублей налоговых отчислений в бюджеты всех уровней.

Главными участниками станут ГК «Росатом», ГК «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)», Правительство Красноярского края, Федеральное космическое агентство (Роскосмос). Кадры для кластерных производств должен будет обеспечить Сибирский федеральный университет, одним из крупных научно-исследовательских направлений которого должна стать солнечная энергетика. Создаваемый в Красноярском

крае кластер создается с учетом опыта восточногерманской Йены. Близ города находятся исследовательские и производственные центры компаний, изготавливающих солнечные батареи: «Ersol Solar Energy», «Sunways Production», «PV Crystalox Solar» — в последний год именно «зеленые» энергетические технологии стали одним из локомотивов роста немецкого биржевого индекса DAX (Рис.1.8).

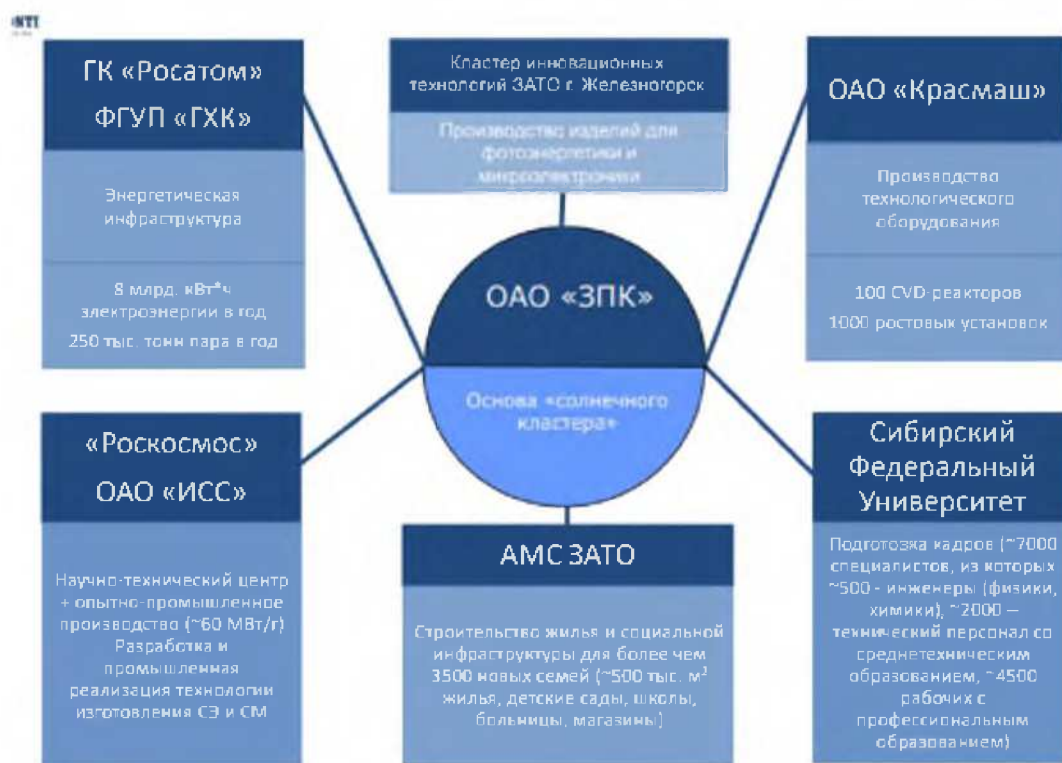


Рисунок 1.8 – Партнёрство в рамках кластера

Развитие инновационного кластера приведёт к большому скачку развития энергетики Красноярского края. Однако существуют некоторые барьеры, сдерживающие развитие солнечного кластера:

1. Длительные сроки рассмотрения заявок на финансирование;
2. Высокая стоимость кредитных ресурсов;
3. Высокая стоимость инфраструктурных составляющих кластера;
4. Высокая налоговая нагрузка на стадии инвестиций;
5. Нехватка квалифицированной рабочей силы и инженерных кадров
6. Ограничения в доступе на промышленную площадку ОАО «ЗПК»
7. Отсутствие механизма использования государственных гарантий для организации финансирования программы кластера.

2. Расчет выработки электрической энергии СП

2.1 Существующие методики

Актинометрия (от греч. *aktis* – луч и *metron* – мера), раздел геофизики и метеорологии, который изучает перенос и превращения солнечного, атмосферного и земного излучений в атмосфере Земли. Общие методы получения актинометрических (солнечных) данных это: проведение приборных измерений – локальных или многолетних, и аналитические расчёты на основе математического моделирования.

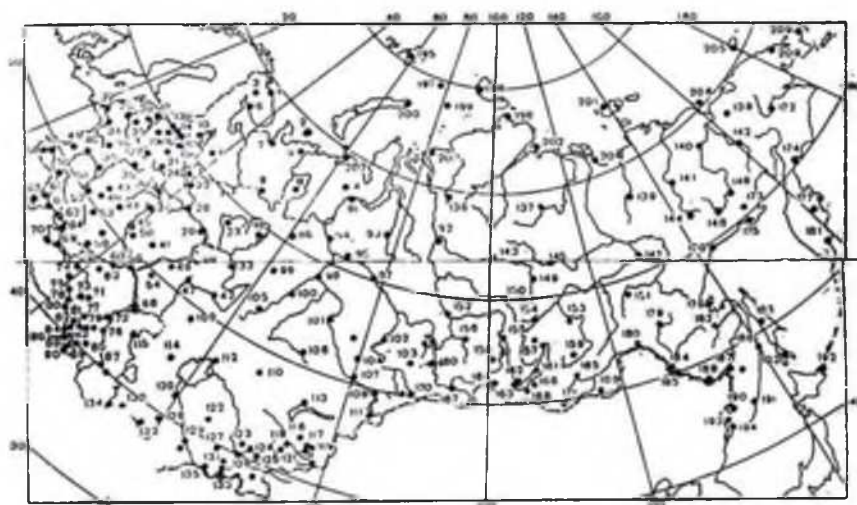


Рисунок 2.1 – Основные актинометрические станции бывшего СССР



Рисунок 2.2 – Сеть актинометрических станций Росгидромета 2011 г.

Число актинометрических станций (АМС) на территории бывшего СССР было весьма невелико.

Как можно видеть на рисунках 2.1, 2.2, среднее расстояние между АМС – примерно 500 км, а в азиатской части – до 1000 км. Для экстраполяции данных с приемлемой точностью требуется среднее расстояние не более 100..130 км. Таким образом, даже основываясь на полных актинометрических данных, получить хорошую пространственную картину СИ весьма затруднительно.

Приборные актинометрические измерения могут быть оценочными, для чего проводят непосредственные измерения на месте, обычно непродолжительные.

Для картографирования и районирования потоков СИ можно применить аналитический метод, основываясь на спутниковых измерениях (многолетние ДДЗ Земли) и на какой-либо математической модели атмосферы. ДДЗ позволяет получить изображения поверхности Земли, соотносящиеся с потоком солнечного излучения, то есть некоторые пространственные данные. Далее параметры СИ для соответствующей географической области получаются расчётным путем. При этом «точечные» наземные измерения используются как опорные и контрольные данные.

Таким образом, необходимые компоненты для применения аналитического метода это:

- данные спутниковых измерений;
- данные наземных измерений;
- модель атмосферы, учитывающая следующие факторы:
- климатические зоны,
- альбедо,
- облачность, осадки, аэрозоли в атмосфере и т.д.

Очевидно, что конечный результат достигается при использовании методов компьютерного моделирования, что требует разработки специального программного обеспечения.

2.2 Методика расчета

2.2.1 Расчет потока солнечной энергии на наклонную поверхность

В общем случае на наклонную поверхность падают три компоненты суммарного солнечного излучения: прямого солнечного излучения с интенсивностью I_{Π} , рассеянного диффузного солнечного излучения с интенсивностью $I_{\text{Д}}$ и отраженного от поверхности Земли с интенсивностью $I_{\text{от}} = \rho(I_{\Pi} + I_{\text{Д}})$, которые имеют различные угловые характеристики. Соотношения между интенсивностью прямой составляющей солнечного излучения на горизонтальную поверхность I_{Π} , Вт/м², и на наклонную поверхность $I_{\text{Н1}}$, Вт/м², определяются выражениями:

$$I_{\Pi} = I_{\text{М}} \cos \theta \quad (2.1)$$

$$I_{\text{Н1}} = I_{\text{М}} \cos \xi \quad (2.2)$$

где $I_{\text{М}}$, Вт/м² — интенсивность прямого солнечного излучения на нормально ориентированную поверхность; θ — угол между направлениями на Солнце и зенит (угол падения на горизонтальную поверхность); ξ — угол между направлениями на Солнце и нормалью к наклонной поверхности (угол падения на наклонную поверхность), ориентированной на юг:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega, \quad (2.3)$$

$$\cos \xi = \cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta, \quad (2.4)$$

где δ — угол склонения, т.е. угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора; φ — широта местности; ω — часовой угол движения Солнца, равный 0 в солнечный полдень; каждый час времени t соответствует 15° долготы, причем значения часового угла до полудня считаются положительными, а после полудня — отрицательными:

$$\omega = \frac{\pi t}{12}, \quad (2.5)$$

моменты восхода и захода Солнца, определяемые условием $\theta = \pi/2$, выражаются одной и той же величиной t_s , которая считается положительной для восхода и отрицательной — для захода:

$$\cos \omega_s = \cos\left(\frac{\pi t_s}{12}\right) = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.6)$$

β — угол наклона рассматриваемой поверхности к горизонту.

Значение угла солнечного склонения можно определить по формуле:

$$\delta = 23.5 \sin\left[360^\circ \frac{284 + n}{365}\right], \quad (2.7)$$

где n — порядковый номер дня года, отсчитываемый с 1 января.

Если распределение рассеянного солнечного излучения по небосводу равномерное (яркость неба, за исключением Солнца, одинакова) в том числе, когда небо покрыто облаками, сплошной туманной дымкой, интенсивность рассеянного излучения на наклонную поверхность зависит только от того, какую часть небосвода «видит» приемник, и оказывается равной:

$$I_{H2} = I_{Д} \frac{1 + \cos\beta}{2}. \quad (2.8)$$

Аналогично рассчитывается значение интенсивности отраженного излучения на наклонную поверхность, определяющееся той частью поверхности Земли, которую «видит» наклонная поверхность:

$$I_{H3} = \rho(I_{П} + I_{Д}) \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (2.9)$$

Суммарная интенсивность солнечного излучения на наклонную поверхность представляет совокупность трех указанных выше компонентов:

$$I_{H} = I_{H1} + I_{H2} + I_{H3} = I_{M} \cos\xi + I_{Д} \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho(I_{П} + I_{Д}) \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (2.10)$$

Эта интенсивность является переменной во времени не только в силу суточного вращения Земли, определяющего явную временную зависимость часового угла ω (4.5), но и из-за случайной временной зависимости интенсивности прямого солнечного излучения.

$$\beta_{\text{оп}} = \varphi - \delta, \quad (2.18)$$

что соответствует ориентации поверхности не только на юг, но и на направление максимума интенсивности прямого солнечного излучения в полдень.

Для летнего периода оптимальное значение $\beta_{\text{оп}}$, определяемое из уравнений (4.13), (4.16), (4.17), оказывается меньше значения (4.18). На практике выражение (4.18) пригодно для оценочного расчета максимального прихода солнечной энергии в течение всего года.

Таким образом, соотношение между средними значениями интенсивности солнечного излучения на горизонтальную и наклонную поверхности получается в виде

$$\langle I_{\text{н}} \rangle = \langle I_{\text{п}} \rangle \frac{\langle \cos \xi \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} + \langle I_{\text{д}} \rangle \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho (\langle I_{\text{п}} \rangle + \langle I_{\text{д}} \rangle) \frac{1 - \cos \beta}{2}. \quad (2.19)$$

В соответствии с этим среднесуточный за многолетний период приход солнечной энергии на единицу наклонной поверхности $E_{\text{н}}$, Вт·ч/(м²·сут), равен

$$E_{\text{н}} = \langle I_{\text{н}} \rangle 12 \left(\frac{2\omega_s}{\pi} \right), \quad \delta \leq 0, \quad (2.20)$$

$$E_H = \langle I_H \rangle 12 \left(\frac{2\omega_c}{\pi} \right), \delta \geq 0$$

где $12 \left(\frac{2\omega_s}{\pi} \right)$ или $12 \left(\frac{2\omega_c}{\pi} \right)$, ч/сут, — число часов в светлое время суток.

Соотношения между среднесуточными приходами солнечной энергии на горизонтальную и наклонную поверхности получается в виде

$$\langle E_H \rangle = \langle E_{\Pi} \rangle \frac{\langle \cos \xi \rangle}{\langle \cos \theta \rangle} + E_{\text{д}} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho (E_{\Pi} + E_{\text{д}}) \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (2.21)$$

где E_{Π} и $E_{\text{д}}$ связаны соответственно с $\langle I_{\Pi} \rangle$ и $\langle I_{\text{д}} \rangle$ выражениями типа (4.20).

Месячные приходы энергии определяются аналогично как произведение соответствующей интенсивности солнечного излучения на число дневных часов в месяце.

2.2.2 Расчет потока солнечной энергии на нормальную к прямому солнечному излучению поверхность

Практически важным является случай ориентации поверхности перпендикулярно потоку прямого солнечного излучения, что достигается посредством использования специальных систем слежения за Солнцем (трекеров) и соответствующего вращения поверхности. В частности, при этом должно соблюдаться равенство угла наклона поверхности к горизонту и зенитного угла Солнца

$$\beta = 0, \quad (2.22)$$

$$I_{OP} = \langle I_M \rangle + \langle I_D \rangle \frac{1 + \cos \theta}{2} + \rho(I_{\Pi} + I_D) \frac{1 - \cos \theta}{2}, \quad (2.23)$$

где I_M , I_{Π} — интенсивности прямого солнечного излучения, соответствующие выражениям (4.1), (4.2). Фактически это обеспечивает максимум прихода солнечной энергии на единицу площади поверхности. Среднесуточное или среднemesячное значение интенсивности солнечного излучения для полностью ориентированной поверхности представляется в виде

$$I_{OP} = \langle I_M \rangle + \langle I_D \rangle \frac{1 + \cos \theta}{2} + \rho(\langle I_M \rangle (\langle \cos \theta \rangle - \langle \cos^2 \theta \rangle) + \langle I_D \rangle) \frac{1 - \cos \theta}{2}. \quad (2.24)$$

Среднемноголетний или суточный приход или месячный приход солнечной энергии на полностью ориентированную поверхность E_{OP} определяется по правилам (4.20) и равен

$$E_{OP} = \frac{E_{OP}}{\langle \cos \theta \rangle} + E_D \frac{1 + \langle \cos \theta \rangle}{2} + \rho \left[E_{\Pi} \left(1 - \frac{\cos^2 \theta}{\cos \theta} \right) + E_D \frac{1 - \langle \cos \theta \rangle}{2} \right]. \quad (2.25)$$

Среднемноголетний годовой приход солнечной энергии представляет сумму среднемноголетних суточных или месячных приходов.

2.3 Пример расчета для г. Красноярска

В Приложении А представлен расчёт потока солнечной энергии для г. Красноярска. Расчёт проводился в соответствии с многолетними данными, опубликованными в Научно-прикладном справочнике по климату СССР выпуск 21 Красноярский край, Тувинская АССР. В данном справочнике приведены средние многолетние значения энергетической освещённости, часовых, суточных, месячных и годовых сумм радиации. Энергетическая освещённость и суммы радиации выражены в единицах международной системы СИ: освещённость – в киловаттах на квадратный метр (kВт/м^2), суммы радиации – годовая, месячная суточная и часовая – в мегаджоулях на квадратный метр (МДж/м^2).

При расчёте учитывалось прямое излучение солнечной радиации и рассеянное. Также в расчёте учитывалось различное время суток во все месяцы.

2.4 Анализ полученных результатов

В соответствии с Приложением А максимальная солнечная радиация при прямом угле излучения наблюдается в июле. При рассеянном-в июне и июле. При этом максимальное значение солнечное радиации в июле – $177 \text{ кВт}\cdot\text{ч/мес.}$ В год – $1322,83 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$

Значение выработки одной солнечной панелью площадью $1,93 \text{ м}^2$ – $382,96 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ в год.

На солнечных электростанциях среднее значение устанавливаемых солнечных модулей 20 тыс. Если принять такое же количество модулей, то годовая выработка всеми панелями будет равна $7,7$ млн $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ в год. Для сравнения: Красноярская ГЭС выработала около $4,5$ млрд. $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ электроэнергии в первом квартале 2019 года.

3 Моделирование режимов работы на базе лабораторного стенда «Испытание солнечных панелей»

3.1 Постановка энергетической проблемы, рассматриваемой на базе лабораторного стенда

Сегодня основным источником энергии считаются химические топлива, получаемые из природных ископаемых: нефти, природного газа, угля. На данных ресурсах базируется экономика множества государств, темпы добычи растут пропорционально росту мирового населения, а значит с каждым днем мы приближаемся к истощению запасов топлива и, следовательно, к энергетическому кризису.

Данный факт подтверждает целесообразность разработок в следующих сферах:

1. оптимизация энергопотребления;
2. традиционные источники энергии и способы их добычи;
3. альтернативные и нетрадиционные источники энергии.

Более того, с ростом числа загрязняющих факторов, особое внимание уделяется экологической составляющей предприятий, в том числе и энергообъектов, что является существенным аргументом в пользу нетрадиционной энергетики.

Развивая данную тему, хочется отметить, что одним из наиболее эффективных и хорошо себя зарекомендовавших источников возобновляемой энергии является солнечная энергия.

В наше время этот вид энергии получил достаточное распространение, солнечные модули используются повсеместно, начиная от выработки электроэнергии и передачи ее в энергосистему и заканчивая электроснабжением личных изолированных бытовых энергосистем, а также питанием электроприборов и мелкой техники и электроники.

Несмотря на то, что Россия по степени использования так называемых нетрадиционных и возобновляемых видов энергии находится пока в шестом

десятке стран мира, развитие этого направления имеет большое значение, особенно учитывая размеры территории страны.

Проект первой в СССР Крымской СЭС был создан в начале 80-х в рижском отделении института «Атомтеплоэлектропроект» при участии тринадцати других проектно-конструкторских организаций Министерства энергетики и электрификации СССР. Научное руководство осуществлял Энергетический институт имени Г.М. Кржижановского Академии наук СССР.

Концепция конструкции башенного типа, примененная в СЭС-5, впервые была выдвинута институтом им. Г.М. Кржижановского еще в 50-е годы. Проектная мощность станции составляла 5 МВт. Такая же мощность была у первой советской атомной электростанции. Полностью станция вступила в строй в 1986 году. На рисунке 2.1 показан внешний вид электростанции в момент окончания строительства.

Общая стоимость строительства СЭС-5 составила около 29 миллионов рублей.

2009 год. Россия. Открыта солнечная электростанция в Белгородской области, мощностью 100 кВт.

В настоящий момент суммарный объем введенных мощностей солнечной генерации в России, по разным оценкам, составляет не более 5 МВт. Большая часть установок приходится на частные домохозяйств. Среди проектов солнечной генерации в России можно отметить пилотные проекты компании «Хевел» по строительству солнечных парков в Ставропольском крае (мощностью 12 МВт) и Республике Дагестан (10 МВт), оба проекта находятся сейчас в стадии предварительной проработки, так как ожидают введения пилотного механизма стимулирования объектов ВИЭ. Кроме того, существует и ряд мелких проектов, которые компании-энтузиасты развивают, несмотря на отсутствие мер поддержки. Например, в 2011 году «Сахаэнерго» поставило маленькую экспериментальную станцию на 10 кВт в Якутии (посёлок Батамай Кубяйского района). В 2012 году запущена солнечная

электростанция ОАО «Сахалинэнерго» в поселке Ючюгей Оймяконского района Якутии [6].

2012 год. В Санкт-Петербурге запущен крупный инвестиционный проект с участием компании «Сколково» [9].

В Физико-техническом институте им А.Ф. Иоффе открыли Научно-технический центр тонкопленочных технологий и запущена экспериментальная линия по изготовлению солнечных модулей, создателям которой удалось соединить научные разработки с современными технологиями и выпустить продукцию, которая будет очень востребована. Мощность развернутой линии — 0,5 МВт, ее планируется использовать для проведения НИР, направленных на повышение технических характеристик тонкопленочных фотоэлектрических модулей. Технология базируется на применении микроморфных покрытий — «тонких пленок» на основе кремния. Поставщиком этой технологии выступает швейцарская компания Oerlikon Solar — мировой лидер в разработке и выпуске оборудования для солнечной энергетики [9].

2012 год. Россия. Было объявлено о сооружении в Херсонской области в Каховском, Скадовском и Цюрупинском районах на участках общей площадью около 2,5 тыс. гектаров солнечной электростанции с проектной мощностью 50 -100 МВт.

В 2012 году в России. Начался монтаж первой в Иркутской области ветро - солнечной электростанции на западном побережье Байкала [6].

Уникальная электростанция появится в отдаленном поселке Онгурен Ольхонского района. Ее работу наряду с дизельным генератором будут обеспечивать солнечные батареи и ветряные установки [6]. Планируется, что комбинированная (гибридная) электростанция будет вырабатывать электроэнергию мощностью до 160 кВт.

Проект ветро - солнечной станции выполнила структура группы «Нитол». Монтажом станции занимается компания ЗАО «Энерпром - Электроникс». ОГУЭП «Облкоммунэнерго» выполняет работы по

строительству воздушных линий электропередачи для электростанции. Стоимость проекта оценивается на данном этапе в 28 миллионов рублей. Для Приангарья этот проект пилотный. Он должен ответить на вопрос, можно ли на побережье Байкала, где запрещено строительство энергомошностей, развивать альтернативную энергетику. Поэтому место размещения ветро - солнечной электростанции было выбрано не случайно. Поселок Онгурен – самый северный и труднодоступный поселок на Малом море Байкала. Он изолирован от центрального энергоснабжения, и электричество подается только три-четыре часа в сутки от дизельной станции, и, конечно, такая ситуация не лучшим образом сказывается на качестве жизни местного населения.

Если проект окажется удачным, то это откроет большие перспективы использования альтернативной энергии не только для Ольхонского района, но и для области в целом.

Таким образом, полностью изолированных и автономных систем солнечного энергоснабжения становится всё больше.

3.2 Описание установки лабораторного стенда

Фотоэлектрические модули (ФЭМ), соединяются в группу из 4 штук напряжением 12В. Параллельно с ФЭМ подсоединяется аккумулятор. Для преобразования постоянного напряжения в переменное используется инвертор, со встроенным устройством заряда аккумулятора и трансформатором, который повышает напряжение с 12 В до 220 В. К инвертору подключена нагрузка 220В. Нагрузка 12В подключена к контроллеру.

Для сравнения были выбраны панели марок Sunways и Exmork.

1) Солнечная панель ФСМ-100М

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100М монокристаллическая изготовлена из высокоэффективных монокристаллических солнечных элементов, что гарантирует повышенную производительность и надежность модуля. В процессе производства используются только высококачественные и сертифицированные компоненты производителей с мировым именем и многолетним опытом работы в области солнечной энергетики.

Преимущества:

- изготовлена из высокоэффективных солнечных элементов производства Sunways;
- солнечные модули серии ФСМ имеют положительный толеранс (0 ~ +6%);
- монокристаллические модули особенно хорошо работают при ярком солнечном свете и рекомендуются к установке в солнечных регионах;
- закаленное, текстурированное стекло высшего качества с высокой прозрачностью гарантирует повышенный КПД модуля, имеет большую прочность при ударах;
- высококачественный анодированный алюминиевый профиль с дренажными отверстиями и жесткой конструкцией предотвращает деформацию модуля в экстремальных погодных условиях.



Рисунок 3.3 – Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100М

Технические характеристики представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики солнечной батареи 100 Вт ФСМ-100М.

Наименование параметров	ФСМ-100М
Пиковая мощность, Вт	100±6 Вт
Напряжение в точке максимальной мощности, В	18,6
Ток в точке максимальной мощности, А	5,38
Ток короткого замыкания, А	5,82
Напряжение холостого хода, В	22,6
Размеры (Ш×В×Г), мм	1209x539x35
Вес, кг	9,2
Стоимость, руб	5400

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100М монокристаллическая изготавливается из 36 монокристаллических солнечных элементов размером 125 x 125 мм. КПД солнечного модуля 15.3%, солнечного элемента 18.1%.

Производитель гарантирует сохранение заявленной мощности более чем 90% от номинальной мощности – в течение 10 лет, сохранение заявленной мощности более, чем 80% от минимальной номинальной мощности – в течение 25 лет [11].

2) Солнечная батарея Exmorк 100Вт 12В монокристалл

Данная панель имеет следующие преимущества:

- высокоэффективные солнечные элементы Exmorк
- рама из анодированного алюминия, предназначенная для эксплуатации вне помещений.
- закалённое стекло (светопроницаемость закалённого стекла: 97%).
- Рабочий диапазон: от -40°С до +85°С
- 12В DC-система.



Рисунок 3.4 – Солнечная батарея Exmork 100Вт 12В монокристалл
Технические характеристики представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики солнечной батареи Exmork 100Вт 12В монокристалл.

Наименование параметров	Exmork 100Вт 12В монокристалл
Пиковая мощность, Вт	100±6 Вт
Напряжение в точке максимальной мощности, В	18,53
Ток в точке максимальной мощности, А	5,40
Ток короткого замыкания, А	5,56
Напряжение холостого хода, В	23,96
Размеры (Ш×В×Г), мм	1199x551x35
Вес, кг	9,2
Стоимость, руб	6700

3) Солнечная панель ФСМ-100П

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П поликристаллическая используется как альтернативный источник для солнечного электроснабжения.

Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П поликристаллическая изготовлена из высокоэффективных поликристаллических солнечных элементов, что гарантирует повышенную производительность и надежность

модуля. Солнечный модуль изготавливается из 32 поликристаллических солнечных элементов размером 156 x 156 мм.

Для обеспечения автономным питанием загородного дома необходимо собрать комплект из основных составляющих: солнечная батарея, аккумуляторы, контроллеры заряда, инвертор. Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П поликристаллическая за солнечный день вырабатывает 700 Вт.

Преимущества:

- высокоэффективные солнечные элементы Sunpower;
- высокая производительность при рассеянном свете обеспечивает повышенную выработку энергии при пасмурной погоде и в зимнее время;
- закаленное стекло солнечного качества обеспечивает его высокую прозрачность и гарантирует повышенный КПД модуля;
- высококачественный анодированный алюминиевый профиль с дренажными отверстиями и жесткой конструкцией предотвращает деформацию модуля в экстремальных погодных условиях [11].

Технические характеристики представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические характеристики солнечной батареи 100 Вт ФСМ-100П.

Наименование параметров	ФСМ-100П
Пиковая мощность, Вт	100±6 Вт
Напряжение холостого хода, В	21,7
Напряжение при работе на нагрузку, В	17,4
Ток при работе на нагрузку, А	5,75
Ток короткого замыкания, А	6,31
Размеры (Ш×В×Г), мм	1010x676x35
Вес, кг	8,6
Стоимость, руб	4600



Рисунок 3.5 – Солнечная батарея 100 Вт ФСМ-100П

4) Солнечная батарея Exmork 100Вт 12В поликристаллическая.

Преимущества:

- высокоэффективные солнечные элементы Exmork
- рама из анодированного алюминия, предназначенная для эксплуатации вне помещений.
- закалённое стекло (светопроницаемость закалённого стекла: 97%).
- Рабочий диапазон: от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$
- 12В DC-система.

Для моделирования работы СЭС на экспериментальном стенде необходимо устойчивое и регулируемое освещение. Поэтому в ходе сборки стенда были предусмотрены специальные светоизолирующие шкафы для солнечных модулей, предназначенные для снижения искажающего влияния внешнего освещения. Внутри шкафов устанавливаются прожекторы. Выбраны прожекторы NAVIGATOR 2x500Вт NFL-T2H2-500-R7s/BLY галогеновые.

Основные характеристики: Прочный литой корпус из алюминиевого сплава со стойким покрытием обеспечивает долгий срок службы. Закаленное и термостойкое защитное стекло выдерживает падение снега и дождя. Стальная хромированная решетка дополнительно защищает стекло от

механических воздействий. Сетевой кабель длиной 3 метра в комплекте. Прожектор комплектуется высококачественными галогенными лампами Navigator.

Внешний вид прожекторов представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Прожектор NAVIGATOR 2x500Вт NFL-T2H2-500-R7s/BLY галогеновый

Для регулирования мощности освещения при изучении поглощения панелями излучения используются диммеры. Выбраны диммеры MAKEL Lillium Natural Kare, максимальная мощность 600Вт.

Для измерения степени текущего освещения используются люксометры DT-1300. Внешний вид представлен на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 – Люксометр DT-1300

На рисунках 3.8, 3.9 представлены трёхмерная модель и фотография стенда.

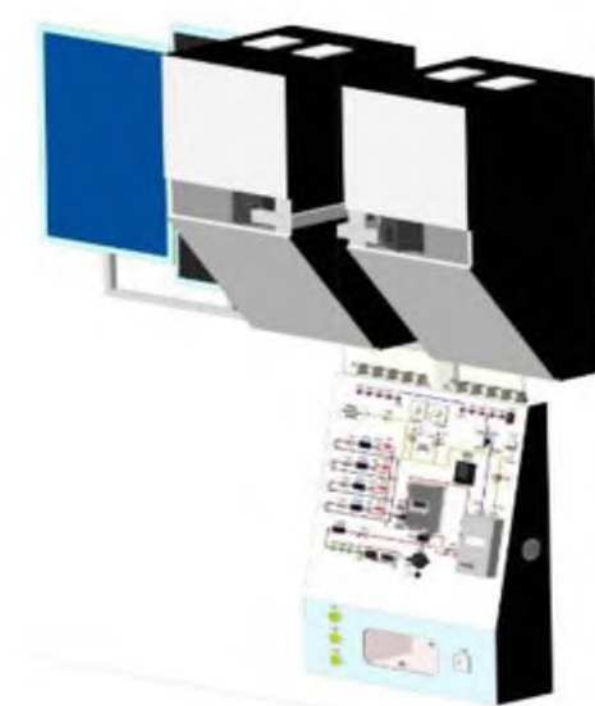


Рисунок 3.8 – Трёхмерная модель стенда «Испытание солнечных панелей»



Рисунок 3.9 – Фотография стенда «Испытание солнечных панелей»

3.3 Сравнение характеристик монокристаллической и поликристаллической панелей под нагрузкой

Для сравнения характеристик монокристаллической и поликристаллической солнечных панелей был использован стенд «Испытание солнечных панелей». Стенд позволяет моделировать работу децентрализованной СЭС на базе солнечных панелей. Моделировать нагрузку возможно как на стороне солнечных панелей (12 В), так и на стороне потребителей (220 В). В стенд заложен функционал моделирования работы СЭС, подключенной к электроэнергетической сети или другому источнику переменного тока, например дизельному генератору.

Было проведено исследование зависимостей изменения напряжения и тока на монокристаллической и поликристаллической солнечных панелей с последовательно подключенной нагрузкой в зависимости от степени освещенности панели. А также снимались характеристики холостого хода, с подключением аккумуляторной батареи и без нее. Результаты приведены в таблицах 3.4,3.5.

Таблица 3.4 – Характеристики монокристаллической панели под нагрузкой 0,6 Ом.

№	Напряжение	Ток	Мощность
0	0	0	0
1	0,233	0,276	0,064
2	0,266	0,310	0,082
3	0,466	0,426	0,199
4	1,10	0,573	0,630
5	2,26	0,773	1,752
6	3,43	0,926	3,18
7	4,70	1,08	5,09
8	6,16	1,24	7,64
9	8,0	1,41	11,3
10	9,53	1,56	14,9
11	9,70	1,57	15,2

Таблица 3.5 – Характеристики поликристаллической панели под нагрузкой 0,6 Ом.

№	Напряжение	Ток	Мощность
0	0	0	0
1	0,20	0,226	0,045
2	0,20	0,290	0,058
3	0,430	0,433	0,187
4	1,60	0,673	1,07
5	2,9	0,860	2,52
6	4,36	1,04	4,55
7	6,10	1,23	7,54
8	7,73	1,40	10,8
9	8,56	1,47	12,6
10	8,60	1,48	12,7

Ниже представлены характеристики холостого хода и нагрузочные характеристики монокристаллических и поликристаллических панелей, полученные в результате проведенных исследований.

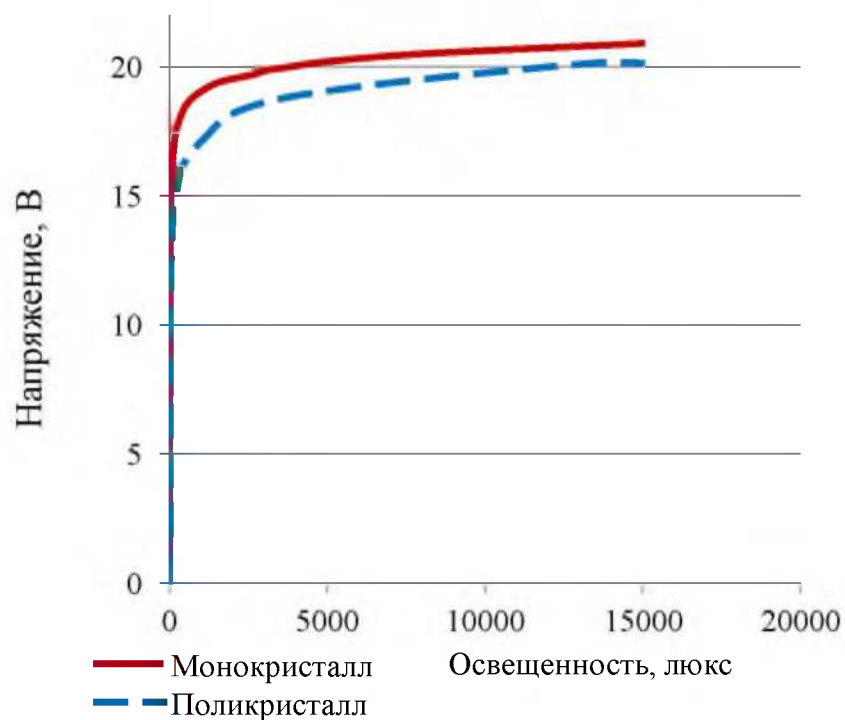


Рисунок 3.10 – Результаты измерений напряжения солнечных панелей в зависимости от освещенности в режиме холостого хода

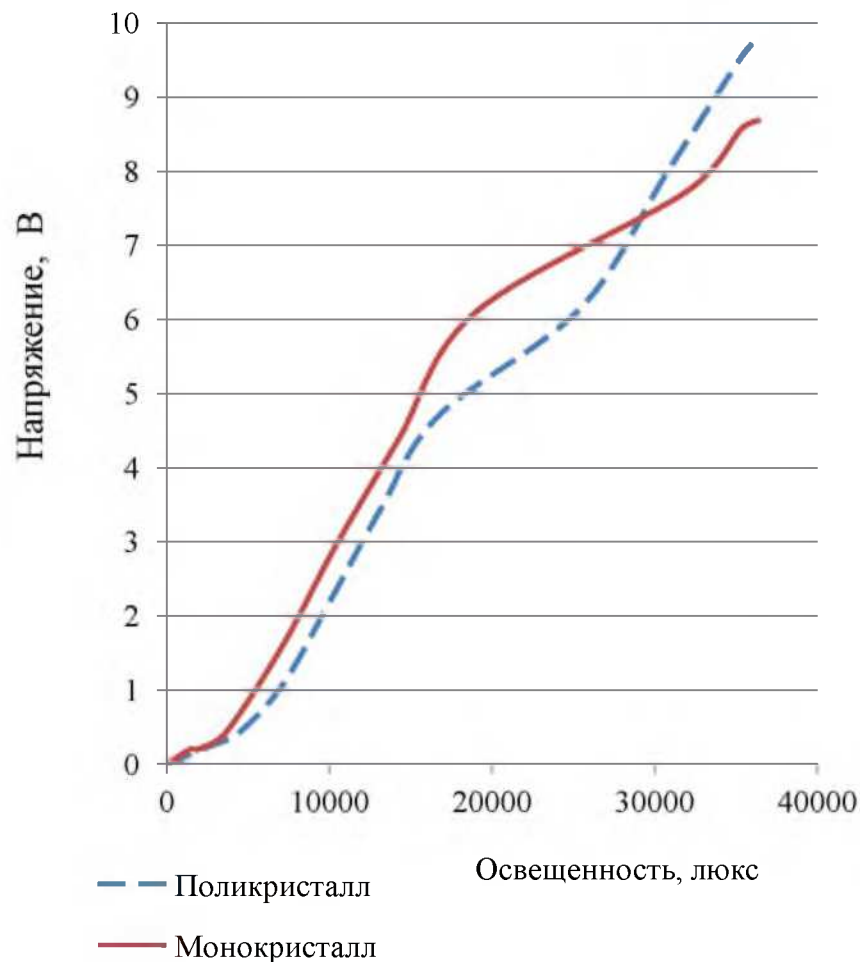


Рисунок 3.11 – Зависимость напряжения на солнечных панелях от степени освещенности при нагрузке в 0,6 Ом.

На основе результатов исследований, представленных на рис.3.10-3.11 можно сделать выводы, что монокристаллическая панель при условиях ограниченной освещенности (до 25 тыс. люкс) быстрее выходит на номинальные параметры. Данный вывод говорит о большей эффективности монокристаллических ФЭМ при преобразовании энергии от рассеянного и отраженного солнечного излучений.

4 Алгоритм корректировки расчёта выработки и экономический расчет солнечных панелей

4.1 Разработка алгоритма корректировки расчета выработки с учетом типа солнечной панели

В соответствии с проведёнными опытами на базе лабораторного стенда и полученными результатами, посчитаем насколько процентов монокристаллическая панель эффективнее по выработке электроэнергии. Для этого анализируем полученные данные по выработке электроэнергии (мощности). В таблице 4.1 можно наглядно увидеть результаты опытов.

Таблица 4.1 – Выработка мощности поликристаллическими и монокристаллическими солнечными панелями

№	Мощность	
	Поликристаллическая солнечная панель	Монокристаллическая солнечная панель
0	0	0
1	0,045	0,064
2	0,058	0,082
3	0,187	0,199
4	1,07	0,630
5	2,52	1,75
6	4,55	3,18
7	7,54	5,09
8	10,8	7,64
9	12,6	11,3
10	12,7	14,9

Монокристаллическая панель эффективнее на 20 % по выработке электроэнергии.

Вернёмся к разделу 2.2.1. Рассмотрим формулу 2.10:

$$I_H = I_{H1} + I_{H2} + I_{H3} = I_M \cos \xi + I_D \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho(I_{\Pi} + I_D) \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

Как известно, на наклонную поверхность падают три компоненты суммарного солнечного излучения: прямого солнечного излучения с интенсивностью I_{Π} , рассеянного диффузного солнечного излучения с

интенсивностью $I_{\text{д}}$ и отраженного от поверхности Земли с интенсивностью $I_{\text{от}} = \rho(I_{\text{п}} + I_{\text{д}})$. В данном случае ориентируемся на рассеянное излучение.

В соответствии с графиком 3.10 и результатами опытов, представленными в таблице 4.1, введём поправочные коэффициенты: для монокристаллической панели $k_{\text{м}}=1,1$, для поликристаллической панели – $k_{\text{п}}=0,9$.

4.2 Расчёт экономической эффективности солнечной станции

В соответствии с п. 2.4. в солнечных электростанциях среднее значение устанавливаемых солнечных модулей 20 тыс. Если принять такое же количество модулей, то годовая выработка всеми панелями будет равна 7,7 млн кВт·ч в год.

Экономическим критерием, по которому определяют наиболее выгодный вариант, является минимум приведённых затрат, вычисляемый по формуле:

$$З = E_{\text{н}} \cdot K + И, \quad (4.1)$$

где K – капитальные вложения на сооружение станции,

$E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент (принимается 0,125),

$И$ – издержки за весь срок службы электрической сети.

Для сравнения вариантов строительства станции с монокристаллическими или поликристаллическими солнечными панелями необходимо для каждого варианта рассчитать затраты.

4.2.1. Расчёт экономической эффективности солнечной станции с использованием монокристаллических солнечных модулей

В соответствии с Приложением В стоимость одного солнечного монокристаллического модуля составляет 5290 руб. Соответственно общая стоимость всех солнечных модулей: $5290 \cdot 20000 = 105\,800$ тыс. руб. Также необходимо учесть крепления, умножив полученную сумму на коэффициент 1,5, получим: 158 700 тыс.руб.

Ежегодные издержки:

$$I_M = \varphi_M \cdot K_M = 0,05 \cdot 158\,700 \text{ тыс.} = 7\,935 \text{ тыс. руб} \quad (4.2)$$

где φ_M – норма амортизационных отчислений.

Экономическая эффективность станции – важный фактор успешной деятельности станции. Для оценки экономической эффективности рассчитаем её показатели: себестоимость электроэнергии, прибыль, срок окупаемости, рентабельность.

Рассчитаем среднегодовую себестоимость передачи 1 МВт·ч:

$$C = \frac{I_M}{P_{\text{макс}} \cdot T_M} = \frac{7\,935}{100 \cdot 5300} = 0,13 \quad (4.3)$$

В соответствии с п. 2.4 и п. 4.1 объём производства ЭЭ (П) – $8,47 \cdot 10^5$ МВт·ч/год.

Определим общую прибыль, тыс. руб/год:

$$m_0 = (J_0 - C) \cdot П = (2,2 - 0,13) \cdot 8,47 \cdot 10^5 = 17,5 \cdot 10^5 \quad (4.4)$$

где J_0 – тариф ЭЭ для электропотребителей.

Определим объём реализации ЭЭ, МВт·ч/год.

$$\mathcal{E}_p = P_M \cdot T_M = 100 \cdot 5300 = 530 \cdot 10^3 \quad (4.5)$$

Прибыль от реализации ЭЭ потребителям, тыс. руб/год:

$$m_1 = J_0 \cdot \mathcal{E}_p = 2,2 \cdot 530 \cdot 10^3 = 1166,0 \cdot 10^3 \quad (4.6)$$

Коэффициент рентабельности:

$$K_{\text{рен}} = \frac{m_0}{m_1} = \frac{17,5 \cdot 10^5}{1166 \cdot 10^3} = 15 \% \quad (4.7)$$

Срок окупаемости, г:

$$CO = \frac{K}{m_0} = \frac{15\,800 \cdot 10^3}{1750 \cdot 10^3} = 9. \quad (4.8)$$

4.2.2. Расчёт экономической эффективности солнечной станции с использованием поликристаллических солнечных модулей

В соответствии с Приложением В стоимость одного солнечного поликристаллического модуля составляет 4520 руб. Соответственно общая стоимость всех солнечных модулей: $4520 \cdot 20000 = 90\,400$ тыс. руб. Также необходимо учесть крепления, умножив полученную сумму на коэффициент 1,5, получим: 135 600 тыс.руб.

Ежегодные издержки:

$$I_M = \varphi_M \cdot K_M = 0,05 \cdot 135\,600 \text{ тыс.} = 6\,780 \text{ тыс. руб} \quad (4.9)$$

где φ_M – норма амортизационных отчислений.

Экономическая эффективность станции – важный фактор успешной деятельности станции. Для оценки экономической эффективности рассчитаем её показатели: себестоимость электроэнергии, прибыль, срок окупаемости, рентабельность.

Рассчитаем среднегодовую себестоимость передачи 1 МВт·ч:

$$C = \frac{I_M}{P_{\text{макс}} \cdot T_M} = \frac{6\,780}{100 \cdot 5300} = 0,12 \quad (4.10)$$

В соответствии с п. 2.4 объём производства ЭЭ (П) – $6,93 \cdot 10^5$ МВт·ч/год.

Определим общую прибыль, тыс. руб/год:

$$m_0 = (J_0 - C) \cdot П = (2,2 - 0,12) \cdot 6,93 \cdot 10^5 = 14,4 \cdot 10^5 \quad (4.11)$$

где J_0 – тариф ЭЭ для электропотребителей.

Определим объём реализации ЭЭ, МВт·ч/год.

$$\mathcal{E}_p = P_M \cdot T_M = 100 \cdot 5300 = 530 \cdot 10^3 \quad (4.12)$$

Прибыль от реализации ЭЭ потребителям, тыс. руб/год:

$$m_1 = J_0 \cdot \Delta_p = 2,2 \cdot 530 \cdot 10^3 = 1166,0 \cdot 10^3 \quad (4.13)$$

Коэффициент рентабельности:

$$K_{\text{рен}} = \frac{m_0}{m_1} = \frac{14,4 \cdot 10^5}{1166 \cdot 10^3} = 12\% \quad (4.14)$$

Срок окупаемости, г:

$$CO = \frac{K}{m_0} = \frac{13\,560 \cdot 10^3}{1440 \cdot 10^3} = 9,4. \quad (4.15)$$

Вывод: Производство электроэнергии и с монокристаллическими панелями, и с поликристаллическими панелями приносит среднюю прибыль. Однако, несмотря на то, что монокристаллические панели дороже (см. рисунок 4.1), они более эффективны. Экономические показатели поликристаллической и монокристаллической панелей приведены на рисунках 4.2-4.4.

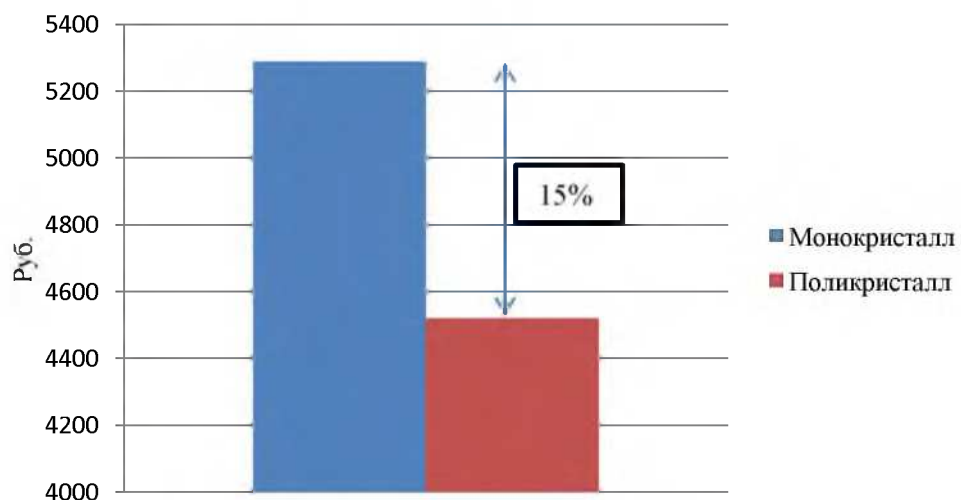


Рисунок 4.1 – Стоимость монокристаллической и поликристаллической солнечных панелей

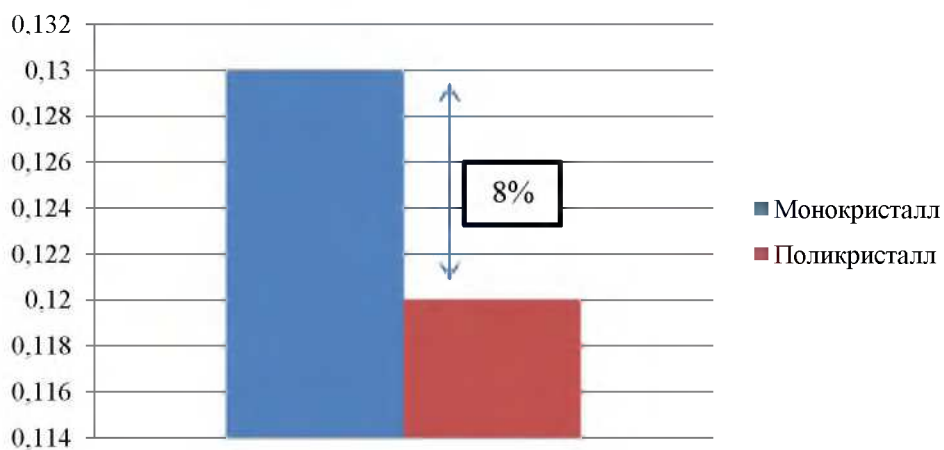


Рисунок 4.2 – Среднегодовая себестоимость передачи 1 МВт·ч

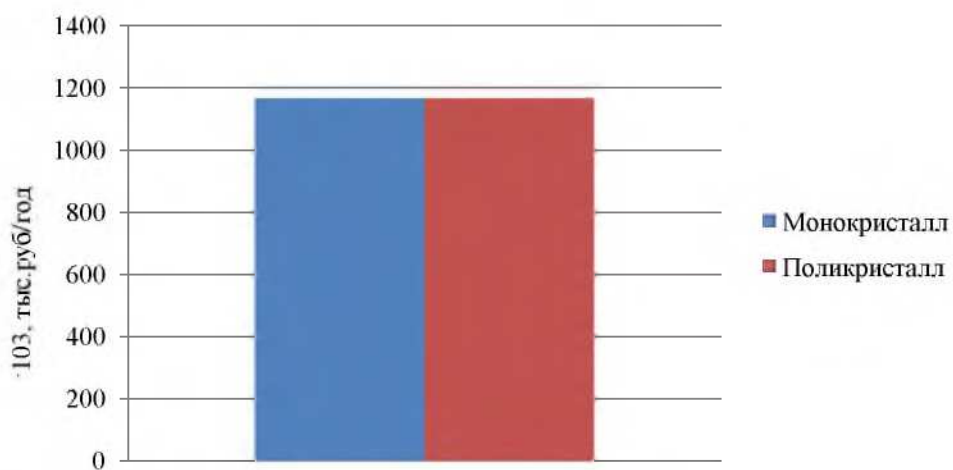


Рисунок 4.3 – Прибыль от реализации ЭЭ потребителям, тыс. руб/год

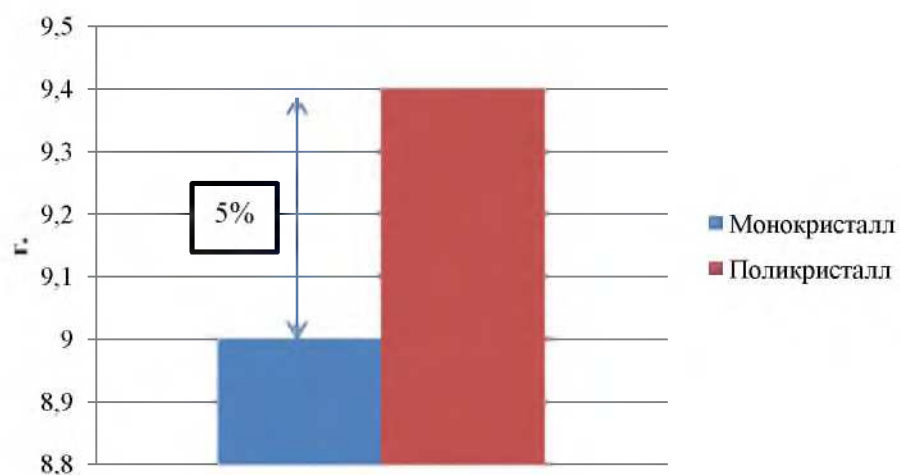


Рисунок 4.4 – Срок окупаемости солнечной электростанции, г

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная диссертационная работа посвящена решению актуального вопроса возможности использования солнечных панелей в условиях климата г. Красноярска.

Выполнен расчёт выработки электрической энергии солнечными панелями. Моделирование режимов работы солнечных панелей выполнено на базе стенда «Испытание солнечных панелей». На основании результатов опытов были сравнены монокристаллические и поликристаллические солнечные панели. В результате чего, более эффективными являются монокристаллические панели.

С учётом типа солнечной панели был разработан алгоритм корректировки расчёта выработки электроэнергии.

Солнечная станция с использованием монокристаллических панелей будет эффективнее и по экономическим показателям таким, как:

Себестоимость - 8%,

Срок окупаемости - 5%.

Данные экономические показатели монокристаллических панелей выше показателей поликристаллических панелей, несмотря на то, что поликристаллические панели в среднем дешевле на 15%.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВИЭ – возобновляемый источник энергии;

ЕС – Европейский Союз;

ЕЭС – единая энергетическая система;

КПД – коэффициент полезного действия;

ОЭС – объединённая энергосистема;

ЛЭП – линии электропередач;

РФ – Российская Федерация;

США – Соединённые Штаты Америки;

СЭС – солнечная электрическая станция;

ЭЭС – электроэнергетическая система.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Куликова Л. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие для вузов / Л. В. Куликова, Ю. А. Меновщиков. – Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Новосибирский гос. аграрный ун-т. – Барнаул: АлтГТУ, 2005. – 365 с.
2. Сравнение монокристаллических и поликристаллических солнечных батарей URL: <http://www.solnechnye.ru/batareya/monokristallicheskie-polikristallicheskiepanely.htm>
3. Ваш солнечный дом [Электронный ресурс]: Интернет – магазин.– URL: <http://www.solarhome.ru/>
4. Официальный сайт ООО «Санвэйс» [электронный ресурс] URL: <https://s-ways.ru/products/solnechnye-moduli-sunways-serii-fsm/>
5. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики: пер с англ. / под ред. Т. Коутса, Дж. Микина. — Москва: Мир, 1988.
6. Аллаев К. Р. Состояние и перспективы развития энергетики мира и Узбекистана // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. — Ташкент, 2006. № 3. С. 26–44.
7. Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.
8. Т. А. Джалалов, Э. З. Имамов, Р. А. Муминов, Н. Насимова, Нанотехнология в решении проблемы солнечной энергетики // рес.конф. «Актуальные проблемы использования альтернативных источников энергии». — Карши, 2014. С. 15–16
9. Статья В. В. Акимова, И. С. Тихоцкая Новая энергетическая стратегия Японии и развитие солнечной энергетики.

10. Виссарионов В.И., Дерюжкадаина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. – Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов // Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.– 316 с.
11. Справочник по климату СССР. Ч. 1-5. Л., Гидрометеиздат, 1966-1968.
12. Атлас ветрового и солнечного климатов России. – Изд. ГГО, 1997. – 173 с.
13. Стадник В. В., Разгоняев Ю. В. Оценка суммарного прихода солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности // Тр. Гл. геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2008. – Вып. 557. – С. 67-84.
14. Стадник В. В. и др. Поступление суммарной солнечной радиации на приёмные поверхности гелиоустановок на территории России // Тр. Гл. геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова. – 2010. – Вып. 561. – С. 124-137.
15. Ярославцев И.Н. О колебаниях сумм теплоты от радиации солнца и неба и распределение энергии этих радиаций по времени для Ташкента. – «Использование солнечной энергии». М., Изд. АН СССР, 1957. Сб.1, с.24-31.
16. Стадник В. В., Разгоняев Ю. В. Оценка суммарного прихода солнечной радиации, поступающей на наклонные поверхности // Труды ГГО. – 2008. – Вып. 557. – С. 67-84.
17. Круглый стол по возобновляемым источникам энергии 4 июня 2012 г., Москва. URL:<http://www.rosatom.ru/journalist/main/2c4948804b744fe89764977da237b363/>
18. Физический принцип работы солнечных батарей. Разработка сайта: интернет-агентство RiTE MEDiA, г Казань. [Электронный ресурс]. URL: <http://wewe.es.ru/article/14/29/>
19. Яворский В.М. и Детлаф А.А. Справочник по физике – М.: Наука 1981.-512 с.
20. Солнечные электростанции – автономное электроснабжение загородного дома от солнечных батарей. URL: <http://www.solarroof.ru/systems/41/95/>

Приложение А

Расчёт потока солнечной энергии для г. Красноярска

Таблица 1 – Поток солнечной энергии в разное время при прямом потоке солнечных лучей

Прямое I_n	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1 (0:30-6:30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0,25	0,31	0,28	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0,25	0,31	0,28	0	0	0	0	0
7 (6:30-9:30)	0	0	0,03	0,18	0,25	0,31	0,28	0,23	0,13	0,01	0	0
8	0	0	0,03	0,18	0,25	0,31	0,28	0,23	0,13	0,01	0	0
9	0	0	0,03	0,18	0,25	0,31	0,28	0,23	0,13	0,01	0	0
10 (9:30-12:30)	0,07	0,16	0,35	0,39	0,39	0,44	0,47	0,43	0,39	0,25	0,14	0,06
11	0,07	0,16	0,35	0,39	0,39	0,44	0,47	0,43	0,39	0,25	0,14	0,06
12	0,07	0,16	0,35	0,39	0,39	0,44	0,47	0,43	0,39	0,25	0,14	0,06
13 (12:30-15:30)	0,19	0,3	0,44	0,38	0,42	0,49	0,49	0,46	0,42	0,29	0,22	0,15
14	0,19	0,3	0,44	0,38	0,42	0,49	0,49	0,46	0,42	0,29	0,22	0,15
15	0,19	0,3	0,44	0,38	0,42	0,49	0,49	0,46	0,42	0,29	0,22	0,15
16 (15:30-18:30)	0,04	0,16	0,32	0,32	0,34	0,39	0,43	0,39	0,31	0,17	0,05	0
17	0,04	0,16	0,32	0,32	0,34	0,39	0,43	0,39	0,31	0,17	0,05	0
18	0,04	0,16	0,32	0,32	0,34	0,39	0,43	0,39	0,31	0,17	0,05	0
19 (18:30-0:30)	0	0	0	0,04	0,13	0,21	0,2	0,11	0	0	0	0
20	0	0	0	0,04	0,13	0,21	0,2	0,11	0	0	0	0
21	0	0	0	0,04	0,13	0,21	0,2	0,11	0	0	0	0
22	0	0	0	0,04	0,13	0,21	0,2	0,11	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0,13	0,21	0,2	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Итого ср. день	0,9	1,86	3,42	3,97	5,35	6,56	6,57	4,97	3,75	2,16	1,23	0,63

Таблица 2 – Углы наклона солнечных лучей и панелей.

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Угол солнца, град	21,5	29,3	37,1	44,9	52,7	60,5	52,7	44,9	37,1	29,3	21,5	13,5
Угол панелей, град	29,3	29,3	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	44,9	29,3	29,3	29,3
Угол панелей, рад	0,51	0,51	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,51	0,51	0,51
Угол наклона, град	-7,8	0	-7,8	0	7,8	15,6	7,8	0	-7,8	0	-7,8	-15,8
Угол наклона, рад	-0,14	0,00	-0,14	0,00	0,14	0,27	0,14	0,00	-0,14	0,00	-0,14	-0,28
COS α	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99	0,96	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99	0,96
β , град	60,70	60,70	45,10	45,10	45,10	45,10	45,10	45,10	45,10	60,70	60,70	60,70
β , рад	1,06	1,06	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	1,06	1,06	1,06
COS β	0,49	0,49	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,49	0,49	0,49

Таблица 3 – Поток солнечной энергии в разное время при рассеянном потоке солнечных лучей

Рассеянное <i>Id</i>	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1 (0:30-6:30)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0,11	0,11	0,1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0,07	0,11	0,11	0,1	0,07	0	0	0	0
7 (6:30-9:30)	0	0	0,01	0,07	0,11	0,11	0,1	0,07	0,04	0,01	0	0
8	0	0	0,01	0,07	0,11	0,11	0,1	0,07	0,04	0,01	0	0
9	0	0	0,01	0,07	0,11	0,11	0,1	0,07	0,04	0,01	0	0
10 (9:30-12:30)	0,05	0,11	0,17	0,21	0,23	0,22	0,2	0,18	0,15	0,12	0,08	0,05
11	0,05	0,11	0,17	0,21	0,23	0,22	0,2	0,18	0,15	0,12	0,08	0,05
12	0,05	0,11	0,17	0,21	0,23	0,22	0,2	0,18	0,15	0,12	0,08	0,05
13 (12:30-15:30)	0,11	0,17	0,21	0,26	0,26	0,24	0,24	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09
14	0,11	0,17	0,21	0,26	0,26	0,24	0,24	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09
15	0,11	0,17	0,21	0,26	0,26	0,24	0,24	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09
16 (15:30-18:30)	0,02	0,07	0,13	0,17	0,19	0,18	0,17	0,15	0,11	0,16	0,02	0,01
17	0,02	0,07	0,13	0,17	0,19	0,18	0,17	0,15	0,11	0,16	0,02	0,01
18	0,02	0,07	0,13	0,17	0,19	0,18	0,17	0,15	0,11	0,16	0,02	0,01
19 (18:30-0:30)	0	0	0,02	0,02	0,05	0,07	0,06	0,03	0,02	0	0	0
20	0	0	0	0,02	0,05	0,07	0,06	0,03	0	0	0	0
21	0	0	0	0,02	0,05	0,07	0,06	0,03	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0,05	0,07	0,06	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0,05	0,07	0,06	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Итого ср. день	0,54	1,05	1,58	2,26	2,84	2,82	2,63	1,99	1,46	1,32	0,63	0,45

Таблица 4 – Расчёт выработки энергии солнечными панелями в условиях климата г. Красноярска

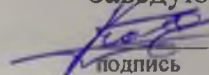
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
Альbedo,%	60	53	30	15	15	15	15	16	17	21	26	53	
Альbedo,о.е.	0,6	0,53	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17	0,21	0,26	0,53	
Прямое <i>I_{пр}</i> (с косинусами)	0,70	1,34	2,37	2,58	2,77	3,12	3,28	3,02	2,57	1,59	0,98	0,53	
Рассеянное <i>I_{диф}</i>	0,40	0,78	1,35	1,93	2,42	2,41	2,24	1,70	1,25	0,98	0,47	0,34	
Отраженное <i>I_{от}</i>	0,22	0,39	0,22	0,14	0,18	0,21	0,20	0,16	0,13	0,19	0,12	0,15	
Суммарное <i>I_{сумм}</i>	1,33	2,51	3,94	4,64	5,37	5,73	5,73	4,88	3,95	2,76	1,58	1,01	
													В год
Солнечная радиация, в кВт*ч/мес	41,14	70,33	122,18	139,23	166,55	172,00	177,55	151,28	118,45	85,48	47,29	31,35	1 322
Площадь панели, м ²	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	
КПД СП	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
Выработка на 1 м ² панели, кВт*ч/мес	6,17	10,55	18,33	20,88	24,98	25,80	26,63	22,69	17,77	12,82	7,09	4,70	
Выработка 1 СП, кВт*ч/мес	11,91	20,36	35,37	40,31	48,22	49,79	51,40	43,79	34,29	24,75	13,69	9,08	382,96

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
Электрические станции и электроэнергетические системы
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.В. Коваленко
подпись инициалы, фамилия

«29» июня 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Исследование режимов работы солнечных панелей различных типов в
климатических условиях г. Красноярск

тема

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

код и наименование направления

13.04.02.02 Электроэнергетические системы, сети, линии электропередачи,

их режимы, устойчивость и надёжность

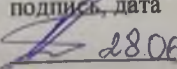
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

 А.В. Бобров
подпись, дата должность, ученая степень

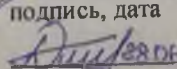
А.В. Бобров
инициалы, фамилия

Выпускник

 М.А. Покарева
подпись, дата

М.А. Покарева
инициалы, фамилия

Рецензент

 А.А. Дербас
подпись, дата должность, ученая степень

А.А. Дербас
инициалы, фамилия

Красноярск 2019