



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы**  
**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**(БАКАЛАВРА)**

**На тему «Оценка климатического режима характеристик сол-  
нечной радиации в Ростовской области для гелиоэнергетики»**

**Исполнитель: Поляков Иван Олегович**

**Руководитель: к.г.н., доцент Абанников Виктор Николаевич**

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой**

**К.г.н., доцент Абанников Виктор Николаевич**

**«18» 04 2019г.**

**Санкт-Петербург**

**2019**

## Оглавление

Введение .....	3
1 Гелиоэнергетические ресурсы .....	5
1.1 Основные сведения о гелиоэнергетике .....	5
1.2 Преобразование солнечной энергии в тепловую .....	7
1.3 Преобразование солнечной энергии в электрическую .....	11
1.4 Проблема аккумулирования тепла в солнечной энергетике .....	13
1.5 Использование актинометрической информации в гелиоэнергетике ....	14
2. Климатические характеристики для оценки гелиоэнергоресурсов .....	19
2.1 Основные требования к определению климатических характеристик гелиоэнергоресурсов .....	19
2.2 Характеристики временной структуры рядов солнечной радиации .....	22
2.3 Основные радиационные показатели при оценке обеспеченности гелиоресурсами .....	23
2.4 Оценка производительности гелиоустановок .....	25
3 Оценка обеспеченности гелиоэнергоресурсами Ростовской области .....	28
3.1 Климатические характеристики режима солнечной радиации .....	28
3.2 Анализ температурных условий работы солнечных устройств .....	34
3.3 Расчет радиационных показателей .....	36
3.4 Оценка производительности некоторых гелиоустановок .....	36
Заключение .....	38
Список литературы .....	39
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	41

## Введение

В связи с быстрым убыванием природных энергетических ресурсов и нарастанием в ряде стран мира энергетического кризиса, ученые все настойчивее ищут пути более широкого применения некоторых других видов энергии, которые можно было бы использовать как для промышленных, так и для бытовых целей. Для решения этой проблемы существует несколько путей. Один из них - использование энергии солнца.

Использование солнечной энергии представляет большой интерес в виду ее огромного количества и влияния на жизнь нашей планеты. К положительным качествам солнечной энергии, как энергоисточника, следует отнести исключительную "чистоту", обусловленную отсутствием каких-либо вредных выбросов при ее использовании.

Большое внимание уделяется использованию солнечной энергии автономными, как правило, малоэнергоёмкими потребителями. Всё большее применение гелиоустановки находят в сельском, в промышленном, в коммунальном хозяйствах и в строительстве.

В настоящее время существенно возрастает потребность в экологически чистых и дешевых источниках энергии. Поэтому важное значение приобретает проблема оценки и использования гелиоэнергетических ресурсов отдельных районов.

Целью данной выпускной работы является анализ режима солнечной радиации и оценка потенциальных гелиоэнергетических ресурсов на примере метеорологической станции в районе посёлка Гигант, находящегося в Ростовской области.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из трех разделов.

В первом разделе приводятся основные сведения о гелиоэнергетике, рассматриваются такие проблемы, как преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую, а так же проблемы аккумуляции энергии. В

этом разделе даются так же сведения об использовании актинометрической информации и работах, проведенных русскими и зарубежными учеными. Во втором разделе рассмотрены основные климатические характеристики гелиоэнергоресурсов, приведена методика для оценки производительности гелиоустановок и основные радиационные показатели.

В третьем разделе приведены климатические характеристики режима солнечной радиации, оценена производительность некоторых гелиоустановок, рассчитаны основные радиационные показатели для выбранных пунктов и выполнено их ранжирование по приоритету гелиоэнергетического потенциала.

# 1 Гелиоэнергетические ресурсы

## 1.1 Основные сведения о гелиоэнергетике

Развитие промышленности и сельского хозяйства непрерывно связано с одновременным и еще более интенсивным развитием энергетики. В качестве примера на рисунке 1.1, приведена диаграмма, которая представляет собой попытку сделать прогноз на возможные предстоящие потребности в энергии в том, как эти потребности могут покрываться за счет различных источников энергии [1]. Ежегодное потребление энергии возрастает на 4,5 % . Это означает, что в течение 15 лет ее потребление удваивается. Из диаграммы вытекает так же, что в настоящее время надо серьезно считаться с тем, что отдельные источники энергии, прежде всего нефть и природный газ должны иссякнуть, и поэтому в будущем большое внимание должно уделяться новым возобновляемым источникам энергии.

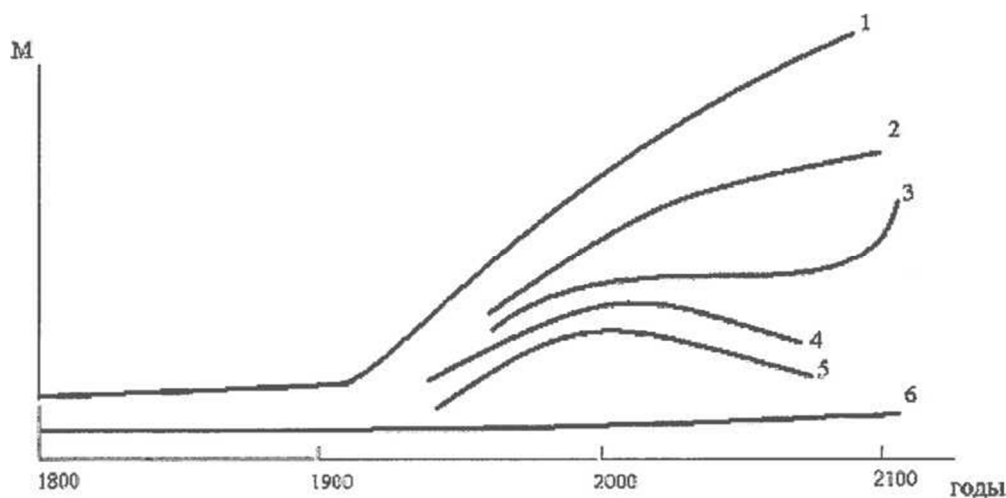


Рисунок 1.1- Диаграмма потребности и прогноза потребности в энергии. (1 - уголь; 2- ядерная энергия; 3- солнечная энергия; 4- газ; 5- нефть; 6– гидроэнергия).

Преобразование энергии возобновляемых источников в наиболее пригодные формы ее использования - электричество или тепло – обходится чрезвычайно дорого на уровне сегодняшних знаний и технологий. Однако, трудности, которые ожидают человечество в случае сохранения темпов прироста отрицательного воздействия на природу в результате промышленной деятельности и процесса энергопроизводства, в частности, вынуждают изыски-

вать средства для повышения эффективности этих "чистых" видов энергии. Здесь любые разумные затраты, вложенные в развитие, внедрение и использование возобновляемых источников энергии, могут и должны быть оправданы [2,3].

К возобновляемым источникам энергии относят солнечную энергию, которая является не только главным условием жизни на Земле, но и первичным источником энергии.

Земля получает от Солнца в течение года около  $60 \cdot 10^{16}$  (кВт\*ч.) чистой энергии, что более чем в 20 тысяч раз превышает энергетические расходы всего человечества [4]. Практическое использование хотя бы малой доли этой колоссальной энергии имеет громадное значение. Отсюда вполне понятно то большое внимание, которое за последние годы стали уделять во многих странах вопросам использования солнечной энергии. Солнечная энергия является "вечным" и потенциально огромным источником энергообеспечения, не вносящим каких-либо загрязнений в окружающую среду [5].

Гелиоэнергетика — отрасль науки и техники, разрабатывающая теоретические основы, методы и средства использования энергии солнечной радиации для получения тепловой, электрической или механической энергии и определяющая отрасли, области и масштабы целесообразного использования энергии солнечной радиации в производстве [6].

Перспективные планы гелиоэнергетики нацелены на создание так называемой большой гелиоэнергетики, призванной обеспечить народное хозяйство энергией в масштабах, соизмеримых с традиционными источниками энергии, такими, как уголь, нефть, газ, и другими. Развитие гелиоэнергетических исследований идет в первую очередь в направлении поиска новых форм и технических средств, приема и преобразования солнечной энергии, которые позволили бы получать дешевую энергию в требуемом количестве.

В настоящее время большие усилия направлены на создание крупных солнечных (СЭС) и солнечно - топливных (СТЭС) электростанций мощностью в несколько сотен мегаватт. Вместе с тем большое внимание уделяется

использованию солнечной энергии автономными, как правило, малоэнергоёмкими потребителями. Все большее применение гелиоустановки находят в сельском (для отопления теплиц, сушения и др.), в промышленном и коммунальном хозяйстве и строительстве (для кондиционирования и теплоснабжения зданий). Поскольку ясно, что равномерная в течение всего года отдача энергии солнечной установкой едва ли может быть осуществлена, необходимо подбирать таких потребителей, которые допускали бы неравномерное снабжение их энергией в течение всего года [7].

В течение нескольких, например летних, месяцев можно осуществлять равномерную отдачу довольно большого количества энергии, затем в течение осенних месяцев отдача так же была бы равномерна, но в значительно меньшей степени. В ряде пунктов из-за климатических условий возможно обеспечение энергией от солнечных установок только в течение летнего времени. В этом случае необходимо подобрать сезонного потребителя. К таковым могут быть отнесены потребности сельского хозяйства в водоподъеме при орошении, водоопреснении, получении холода и т.п. [8,9].

В технике использования солнечной энергии есть два разных направления:

- 1) энергоснабжение, создание крупных электростанций;
- 2) теплоснабжение, горячее водоснабжение, опреснение.

В первом направлении солнечная энергия преобразуется в электричество, во втором - вне зависимости от конечного потребителя преобразуется первоначально в тепло [10]. Рассмотрим эти два вида преобразования солнечной энергии более подробно.

## 1.2 Преобразование солнечной энергии в тепловую

Наибольшее распространение получил способ преобразования солнечной энергии в тепло. Тепловая энергия, получаемая в солнечных коллекторах или других тепловых преобразователях, может использоваться для про-

изводства электроэнергии, отопления, горячего водоснабжения, сушки сельскохозяйственных продуктов, опреснения воды и т.д. По технико-экономическим показателям и подготовленности технических решений этот метод преобразования солнечной энергии является наиболее перспективным для широкого внедрения во многих странах мира, расположенных, как в низких, так и в широтах высоких [11].

Установки и системы, осуществляющие преобразование солнечной энергии в тепловую, могут быть классифицированы по различным признакам. Схемы и конструктивные решения солнечных установок во многом зависят от уровня температурного преобразования. В связи с этим их разделяют на низко, средне, и высокотемпературные [8]. Наиболее простые устройства для превращения лучистой энергии солнца в тепло - низкотемпературные установки типа "горячего ящика" (рисунок 1.2) .



Рисунок 1.2 - Преобразование солнечного излучения в тепло

Такие установки целесообразно применять для получения температур 55-85°C. Вот почему эти устройства носят название низкотемпературных.

На рисунке 1.3 изображена принципиальная схема такого устройства. Обычный ящик, деревянный или бетонный, с толстыми стенками и хорошо



изолированным дном, покрывается сверху одним или несколькими слоями оконного стекла, установленных герметически.

### Принципиальная схема "чёрного ящика"

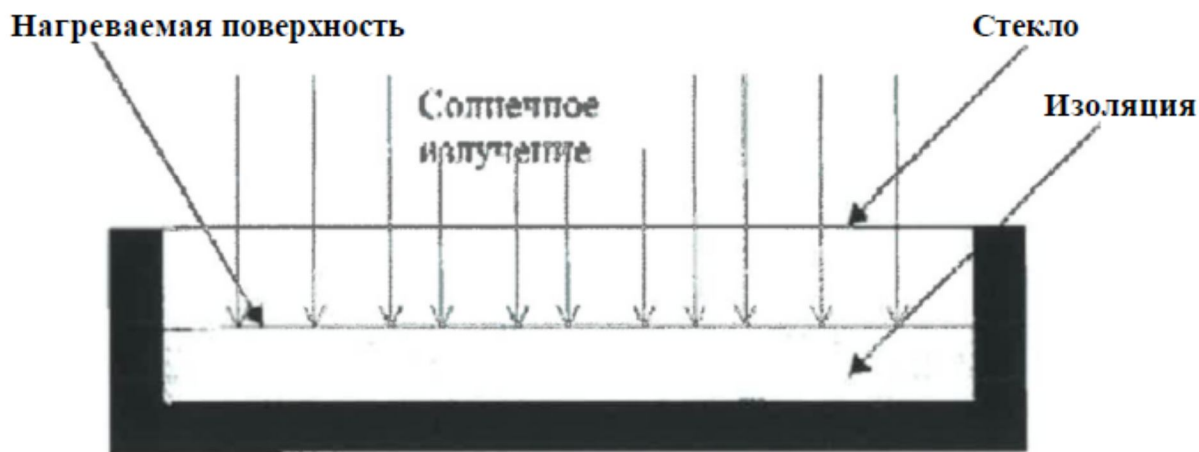


Рисунок 1.3 - Принципиальная схема "черного ящика"

Прошедшие, с частичным поглощением, сквозь стекло, лучи попадают на установленную внутри ящика металлическую, покрытую матовой черной краской нагреваемую поверхность, поглощаются ею, и нагревают ее. Нагретая поверхность теряет тепло частично посредством теплопроводности и конвекции. Температура нагретой поверхности сравнительно невелика (не более  $80^{\circ}\text{C}$ ), поэтому излучаемая его энергия в основном лежит в области таких больших длин волн, для которых стекло практически не прозрачно. Тепловые потери конвекцией сводятся к минимуму (поверхность изолирована от окружающей среды).

Вот почему такое простейшее устройство, как "горячий ящик", может уловить значительное количество падающей на него солнечной энергии. На принципе "горячего ящика" построены многие солнечные низкотемпературные установки, служащие для нагрева воды, сушки овощей и фруктов, дистилляции минерализованной воды, отопления помещений и т.п. [4.]

Если мы хотим получить температуры в  $100^{\circ}\text{C}$  и более, употребление «горячих ящиков» будет нерационально, а при температуре в несколько сот

градусов и вообще невозможно. В этих случаях необходимо обратиться к установкам с концентратами солнечной энергии. Такими концентратами могут являться обыкновенные зеркала различной формы (возможно применение линз). В этих установках приемник тепла "гелиокотел", помещенный в фокусе, обладает значительно меньшей поверхностью нагрева, чем приемник тепла в "горячем ящике" (поэтому снижаются тепловые потери). Не будем останавливаться подробно на теории концентрации лучистой энергии, а лучше рассмотрим конкретно некоторые гелиоустановки с концентратами.

В разные годы в нашей стране были разработаны и построены солнечные установки, предназначенные для электро- и теплоснабжения [4,8,10]. Одной из наиболее распространенных является гелиоэнергетическая установка ГУ-10, разработанная в Энергетическом институте АН РФ [4]. Это солнечная установка с параболическим отражателем диаметром 10 м. Параболическая тонкостенная часть отражателя была изготовлена из железобетона. К ней были надежно приклеены зеркала, которые под действием нагрузки песком выгибались и ложились по поверхности параболической поверхности.

Для увеличения КПД (коэффициента полезного действия) установки необходимо было сделать так, чтобы отраженные от зеркала лучи, возможно, более полно поглощались бы котлом (т.е. превратить котел в "абсолютно черное тело"). В гелиокотле ГУ-10 генерируется 40-50 кг. пара в час, при давлении 5-6 атмосфер, с температурой нагрева 200 - 210° С.

Другая схема потребления энергии солнца - производство льда и охлаждение помещений — имеет так же большое значение. На той же экспериментальной станции был построен аммиачный абсорбционный холодильник, работающий от пара, производимого в гелиокотле ГУ-10.

Если использовать зеркало 78 м<sup>2</sup>, то можно получить от этой установки до 300 кг льда в день [4].

До сих пор рассматривались лишь сравнительно небольшие солнечные установки. Однако каждая из них взятая отдельно, не может рассматриваться как прототип для создания более мощной установки. С энергетической

точки зрения безусловный интерес представляет вопрос о создании крупных установок с мощностью в несколько сотен и даже тысяч киловатт. К высокотемпературным установкам относятся солнечные электростанции с термодинамическим циклом преобразования энергии, солнечные печи и др.

В гелиолаборатории Энергетического института была разработана новая станция, с улучшенными технико-экономическими показателями, позволяющая осуществить использование солнечной энергии в крупных масштабах [12].

В центре площадки на башне высотой 35м установлен плоский, экранного типа паровой котел, способный вращаться вокруг вертикальной оси вслед за видимым движением солнца. На площадке вокруг башни проложены 23 концентрических круговых рельсовых пути, по которым медленно движутся поезда, состоящие из тележек, с установленными на них плоскими отражателями. Детальные расчеты и исследования, подкрепленные экспериментом, показали, что концентрация энергии при такой схеме близка к концентрации, имеющей место в крупных параболических установках. В то же время стоимость единицы, отражающей поверхности СТС, оказывается значительно ниже.

### 1.3 Преобразование солнечной энергии в электрическую

Вторым направлением использования солнечной энергии является преобразование ее в электрическую энергию. Электрическая энергия обладает очень высокими показателями. Очень выгодно непосредственно преобразовывать солнечную энергию в электрическую. Непосредственное преобразование солнечной энергии применяется на всех искусственных спутниках Земли.

Производство энергии на солнечных электростанциях (СЭС) - пока еще затруднено, поскольку источник солнечной энергии отличается низкой

плотностью радиации в среднем на поверхности составляет 1 (кВт/м<sup>2</sup>). В связи с этим требуется большая площадь энергоприемников. В связи с большой стоимостью единицы поверхности модулей концентраторов, создание мощных СЭС связано со значительными затратами. Кроме этого можно отметить, что прямое преобразование солнечного излучения в электрическую энергию является перспективным для энергетики будущего.

Трудно описать, как технически функционирует солнечная батарея. В принципе это описание будет похоже на объяснение работы транзистора. Когда солнечная энергия попадает на батарею, то возникает постоянное напряжение, мощность которого зависит от количества поступающей энергии. Недостаток состоит в том, что если солнце скрыто облаками или падающая солнечная энергия ниже определенных необходимых показателей (по количеству), то солнечная батарея перестает работать. Выполнена солнечная батарея из кремния - одного из самых распространенных материалов. Каждый отдельный элемент батареи занимает всего несколько сантиметров в диаметре. Затем, они параллельно соединяются в более крупные панели.

В солнечный день на каждый квадратный метр поверхности падает количество солнечной энергии мощностью 1 (кВт\*ч). Количество падающих лучей зависит от высоты положения Солнца над линией горизонта. Поэтому реально предположить, что за год количество энергии, падающей на Землю (на м<sup>2</sup>). равняется 500 - 100 (к Вт\*ч). КПД солнечной батареи применяется от 10-20 %. Это означает - что с их помощью можно преобразовать солнечную энергию непосредственно в электрическую и получить примерно 100 (к Вт\*ч / м<sup>2</sup>) электроэнергии в год. Недостаток этого способа в том, что электроэнергию нужно использовать в тот же момент, когда она выработана, если невозможно каким-либо способом накапливать ее. Наиболее просто накапливать ее в аккумуляторах. Исходя из этого, создаются установки в которых солнечная батарея, улавливающая энергию солнечного излучения преобразует ее в электрическую и аккумуляторные батареи, которые забирают избыток энергии и накапливают ее.

## 1.4 Проблема аккумулирования тепла в солнечной энергетике

Проблема аккумулирования энергии, актуальная для большинства отраслей энергетики, приобретает особое значение в случае использования перспективной для широкого применения в будущем солнечной энергии [13]. Это обусловлено сильной зависимостью прихода, а следовательно, и возможности преобразования лучистого потока Солнца, от времени суток, года и погодных условий. Продолжительность поступления солнечного излучения в течение дня на поверхность Земли, особенно для районов удаленных от экватора, в течении года значительно изменяется [14]. В качестве еще одного примера можно привести так же режим солнечного излучения в течение суток для южных районов нашей страны, расположенных между  $35^\circ$  и  $45^\circ$  северной широты. Продолжительность дня в этих широтах колеблется от 8 до 16 часов. Если наблюдать за приходом лучистой энергии Солнца в течение ясного дня, то окажется, что в начале и в конце дня количество солнечной энергии, падающее на плоскость, расположенную перпендикулярно к солнечным лучам, невелико. Через час после восхода солнца оно уже достигает  $400$  (ккал /  $m^2 \cdot \text{час}$ ). Далее скорость возрастания энергии постепенно падает. В полдень энергия достигает своего максимального значения, равного примерно  $800$  (ккал /  $m^2 \cdot \text{час}$ ).

Естественно, что возможность использования энергии солнца ограничивается продолжительностью солнечного дня. Еще более неравномерен приход солнечного излучения в пасмурные (облачные) дни. В такие дни график прихода энергии солнца имеет резкие колебания и характеризуется "провалами", каждый из которых соответствует набеганию на солнце.

В полностью пасмурные дни мы можем использовать только, так называемое, диффузное (рассеянное) солнечное излучение. Приход этого излучения относительно равномерен, но абсолютные величины радиации малы. Неравномерный характер прихода солнечной энергии сильно сужает пределы и возможности ее использования. Поэтому одной из основных за-

дач гелиотехники является вопрос аккумулирования солнечной энергии. Для того чтобы снабжение потребителя энергией, вырабатываемой солнечной установкой, было бесперебойным, должна быть использована какая-либо дублирующая установка, работающая на топливе, либо применено аккумулирование энергии, вырабатываемой гелиоустановкой.

При этом в случае применение аккумулятора и производительность установки, которая обеспечивала бы в солнечное время, как снабжение потребителя, так и подзарядку аккумулятора. Выбор этих параметров не может быть произведен на основе средних статистических данных о продолжительности солнечного сияния, о суммах радиации и тому подобных средних климатических показателей.

Главным образом емкость аккумулирующего устройства не может быть определена. Например, по максимальной продолжительности периода без солнца. Их конкретный принцип действия, а так же энергетическая емкость определяются спецификой гелиотехнических установок и систем, в составе которых они должны работать.

Аккумулирующие установки, исходя из требований массового применения, должны быть достаточно дешевыми, технологичными в изготовлении, надежными и безопасными в эксплуатации, доступными с точки зрения используемых материалов и веществ.

## 1.5 Использование актинометрической информации в гелиоэнергетике

Решение проблемы использования солнечной энергии встречает, однако, серьезные трудности, заключающиеся с одной стороны, в малой плотности потока лучистой солнечной энергии, что заставляет применять большие площади отражающих поверхностей или плоских приемников для получения сколько-нибудь значимой мощности, и с другой стороны, в большой изменчивости прихода радиации, зависящей от времени года и погод-

ных условий. Эта изменчивость и ненадежность в значительной мере снижают ценность солнечной радиации, как источника энергии. Поэтому, несмотря на то, что солнечная энергия, как говорят, является дармовой, ее использование не может быть во всех случаях оправданным и экономически целесообразным.

Очевидно, что в каждом конкретном случае предполагаемому применению различных видов солнечных установок должно предшествовать изучение условий радиационного климата в рассматриваемом районе. Без выполнения этой необходимой предпосылки, использование тех или иных солнечных аппаратов может оказаться нецелесообразным и невыгодным. Кроме того, без знания важнейших характеристик радиационного климата, затруднительно определить наиболее рациональные схемы потребления энергии, вырабатываемой солнечными установками. Эти представляющие интерес для гелиотехники сведения могут быть подчеркнуты только из материалов метеорологических наблюдений: актинометрических наблюдений и наблюдений за продолжительностью солнечного сияния по гелиографу.

Актинометрические наблюдения дают сведения о суточном ходе радиации. В частности, суточный ход прямой радиации для ясного неба является весьма важной характеристикой для работы солнечных установок, поскольку, естественно, такие установки рассчитываются, исходя из условий ясного неба. С точки зрения использования солнечной энергии, наибольший интерес представляет, именно суточный ход прямой радиации.

Известный интерес для установок с плоскими приемниками энергии представляет так же суточный ход рассеянной радиации, поскольку эти установки используют и рассеянную радиацию.

Другим весьма важным показателем являются суммы прямой радиации, приходящей на нормальную поверхность. Определение сумм радиации (месячных и годовых) само по себе еще не является исчерпывающей характеристикой использования солнечной энергии. Действительно, если известно количество солнечной энергии, поступающей в том или ином пункте, то

остается все же неизвестным, какое количество этой радиации может быть использовано солнечными установками.

Данные о суммах радиации, прежде всего, могут быть использованы для сравнения перспективности применения солнечных установок в различных пунктах. Определение сумм прямой радиации для ряда пунктов позволяет выбрать районы, где использование солнечной энергии наиболее целесообразно. Поэтому определение сумм радиации является первым и необходимым условием при оценке радиационного климата с точки зрения использования солнечной энергии. В этом смысле большой интерес представляют не только абсолютные значения сумм радиации, но и относительные (отношение действительных сумм к возможным).

При нахождении, например, месячных и годовых сумм радиации наряду со средней величиной необходимо знать так же диапазоны отклонений от средних значений [17]. Существенным показателем возможностей использования солнечной энергии является число часов солнечного сияния, фиксируемое гелиографами. Зная среднее число часов солнечного сияния за некоторый промежуток времени (месяц, год и др.) мы, тем не менее, не располагаем сведениями о том, сколько часов в этих условиях будет работать и простаивать та или иная солнечная установка. Таким образом, данные о числе часов солнечного сияния для некоторых пунктов дают лишь общее представление о возможности использования солнечных установок в этих пунктах, тем ни менее в абсолютном и относительном выражении помесечно и за год являются важным средством оценки перспективности тех или иных пунктов и районов. На основе анализа и соответствующей обработки наблюдений по гелиографу можно определить число часов работы различных видов гелиоустановок, а затем и количество тепла, использованное этими установками за время их работы.

Так, если известно, в течение, какого числа часов в среднем некоторая солнечная установка будет работать каждый месяц, то задача заключается в том, чтобы определить, какое количество солнечной радиации будет



получено этой установкой в течение ее работы.

Для этого необходимо иметь данные о суточном ходе прямой солнечной радиации в рассматриваемом пункте так же для каждого месяца. Полагая, что период непрерывного солнечного сияния с равной вероятностью охватывает любой час, для чего, следует определить среднее значение плотности потока радиации за день. При этом следует исключить время после восхода и захода в течение часа, как это делалось при обработки наблюдений по гелиографу. Зная среднюю величину плотности потока радиации, умножаем на число часов работы, установки нетрудно определить количество энергии, использованной этой установкой. Результаты такой обработки наглядно продемонстрированы на конкретном случае [18]. Так, рассмотрим пример непрерывного облучения не менее 5 часов.

На рисунке 1.4 в виде диаграммы показано число часов солнечного сияния и работы установки в процентах от возможной длительности солнечного сияния. Вторая диаграмма на этом рисунке демонстрирует действительную сумму прямой солнечной радиации и количество энергии, использованной солнечной установкой, в процентах от возможной суммы.

Для рассматриваемого примера установлено, что 26% возможной суммы радиации задерживается облачностью; 13.3 % не может быть использована солнечной установкой вследствие слишком малой продолжительности непрерывного сияния; 6.5 % идет на разогрев установки при ее включении, и наконец 54.4 % составляет энергия радиации, которая используется данной установкой.

Сказанное выше относилось к установкам, использующим прямую солнечную радиацию. Учитывая все сказанное выше, можно утверждать, что имеющиеся материалы метеорологических и актинометрических наблюдений при соответствующей их обработке позволяют сделать необходимые для гелиотехники выводы о важнейших показателях работы солнечных установок, таких как выработка энергии, число часов работы и простоя, а так же о возможных режимах отдачи энергии потребителю.



Рисунок. 1.4 - Пример использования солнечной энергии гелиоустановкой прямой радиации на перпендикулярную поверхность.

Эти вопросы постоянно находятся в центре внимания исследователей и особое значение приобрели в настоящее время не только в связи с истощением традиционных источников энергии, но и в связи с экономической проблемой [2]. Подробный обзор климатологических исследований режима солнечной радиации для использования в гелиотехнических целях был выполнен Т.Г. Берлянд [19].

## 2. Климатические характеристики для оценки гелиоэнергоресурсов

### 2.1 Основные требования к определению климатических характеристик гелиоэнергоресурсов

С учетом специфики различных технологий преобразования солнечной энергии необходимо знать исходные параметры солнечной радиации, которые непосредственно пересчитываются в показатели производительности конкретных гелиоустановок. В инженерных разработках используют обычно или простейшие приближенные модели учета этих исходных величин, либо вынуждены самостоятельно строить сложные модели, не получающие, как правило, ввиду своей специфичности широкого распространения.

Например, для выбора вариантов компоновки анализа режимов работы, и расчета энергетических характеристик солнечных станций (СЭС) была разработана математическая имитационная модель, позволяющая по средним многолетним климатическим характеристикам в районе расположения СЭС определить наиболее вероятные режимы работы [20]. В модель вводятся средние многолетние климатические характеристики по району расположения СЭС и географическая широта места. По этим показателям во внутренних блоках модели вычисляются положения Солнца и наиболее вероятный уровень прямой солнечной радиации в различное время рабочего дня СЭС и в разные сезоны. Ниже приводится блок-схема модели расчета уровня возможной (без учета облачности) прямой радиации с использованием формулы Кастрова:

$$\sin \sigma m = \sin \sigma m \left[ \frac{2\pi(n-n_0)}{365} \right], n = f(m) \quad (2.1)$$

$$\sin h_0 = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos kt$$

$$\sigma \cos = \sqrt{1 - \sin^2} \times \sigma m$$

$$I = \frac{I_0 \sin h_0}{Cmt \sin h_0}$$

где  $n$  – номер дня от начала года;

$m$  – номер месяца;

$\sigma$  - склонение солнца,  $\sigma_m = 23.45^\circ$ ;

$n_{81}$  - номер дня от начала года до того дня. Когда  $\sigma = 0^\circ$ ;  $h$  - высота солнца;  
 $\varphi$  - широта места;

$k$  - скорость видимого перемещения солнца.  $K = 15$  за 1 час;

$t$  - номер часа, отсчитываемого от истинного полдня;

$I$  - энергетическая освещенность, создаваемая прямой солнечной радиацией;

$I_0$  - солнечная постоянная ( $\text{Вт/м}^2$ );

$C_m$  - коэффициент, характеризующий прозрачность атмосферы, рассчитанный Сивловым [21] для различных значений массы ( $\tau$ ) и прозрачности ( $P_2$ ) атмосферы.

В [21] показано, что в интервале от  $m = 3$  до полудня и до  $m = 3$  после полудня ( $n_0 > 20^\circ$ ) коэффициенты, характеризующие прозрачность атмосферы, можно считать постоянным, не зависящим от массы атмосферы. Примерно в этих же пределах высот солнца ( $n_0 > 15^\circ$ ) работает и СЭС.

В этой модели средней статистической климатической характеристикой является коэффициент интегральной прозрачности атмосферы на 15-е число каждого месяца. Для учета облачности можно использовать среднюю месячную многолетнюю повторяемость ясного неба по данным близлежащих метеостанций.

Затем определяется ожидаемый годовой уровень солнечной энергии ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ ), с учетом изменения склонения Солнца, энергетической освещенности солнечной радиацией, повторяемости ясного неба, эксплуатационного коэффициента отражения зеркал и координат гелиостата на поле.

Солнечная энергия, отраженная за год от  $n$  - го гелиостата, при прочих равных условиях будет зависеть от расположения гелиостата на поле относительно центрального приемника.

$$A = MF\rho_3 \sum_{\delta_1}^{\delta_{12}} \left[ \lambda\delta \int_{-t\delta}^{t\delta} (\cos in)_\delta S_\delta dt \right]$$

где  $M$  – среднее число дней в месяце за четырёхлетний период;

$F$  - площадь зеркала единичного гелиостата;

$\rho_3$  - эксплуатационный коэффициент отражения гелиостатов  $\rho_3 = 0.65$ ;

$\delta$  - склонение солнца на 15-е число;

$\lambda\delta$  - средняя многолетняя повторяемость ясного неба;

$t$  - продолжительность работы СЭС для условий ясного неба на 15-е число ( $h_0 > 15^\circ$ );

$S_\delta$  - средняя месячная многолетняя энергетическая освещенность солнечной радиацией по часовым интервалам  $-/+$  при отсутствии облачности;

$(\cos in)$  - месячное значение косинуса угла падения солнечных лучей по часовым интервалам для  $n$ -го гелиостата;

$\int_{-t\delta}^{t\delta} (\cos in)_\delta S_\delta dt$  - удельный энергетический вклад (к Вт\*ч/м<sup>2</sup>).

С 1м<sup>2</sup> зеркальной поверхности  $n$ -го гелиостата на 15-е число месяца в течение рабочего дня. Используя различные варианты суммирования средних годовых уровней солнечной энергии ( $A_n$ ), отраженной отдельными гелиостатами, можно определить средние годовые уровни солнечной энергии, концентрируемой на приемнике, а в конечном счете и выработку электроэнергии.

Как видно из приведенного примера, на этапе проектных разработок достаточно использовать средние многолетние месячные значения коэффициента прозрачности, количества облачности, часовые значения энергетической освещенности прямой радиацией, перпендикулярной лучам поверхности. Однако для оптимизации режима работы СЭС на стадии эксплуатации необходимо использовать такую информацию, как структуру суточного хода

прямой солнечной радиации для учета непрерывной продолжительности работы и времени простоев, интервалы продолжительности солнечного сияния не менее 2-3 часов, суточный ход температуры воздуха, скорости ветра и др.

## 2.2 Характеристики временной структуры рядов солнечной радиации

Для анализа обеспеченности конкретного пункта или района гелиоэнергоресурсами необходимо знать некоторые характеристики солнечной радиации.

Самой простой, но в тоже время и самой важной при решении многих задач является важная статистическая характеристика - среднее значение. Средние многолетние значения (нормы) являются основной для построения карт сумм солнечной радиации, которые наглядно отражают общие закономерности распределения радиации по территории и позволяют (путём интерполяции) получить её значения в пунктах, где наблюдение не проводится.

Средние многолетние значения выражают в виде одного числа наиболее важную часть информации о режиме метеорологической величины. Они отражают фон, на котором происходят фактические изменения величины с их помощью удобно проводить сопоставление метеорологических величин во времени и пространстве [23].

Кроме средних значений, потребителю необходимо располагать сведениями об их изменчивости в отдельные годы и дни. Возможные пределы оцениваются по экстремальным данным. Однако следует иметь в виду, что экстремумы не являются фиксированными значениями, а зависят от объема выборки. Абсолютный максимум и минимум характеризуют наибольший и наименьший приход радиации за период наблюдений.

Естественно, что для получения достоверных абсолютных значений экстремумов необходимо наличие достаточно длинных рядов. Учитывая не столь большую длину ряда суточных сумм радиации, целесообразно вычис-

лять средние максимум и минимум, которые дают представление о среднем суточном приходе в наиболее пасмурные и солнечные дни.

Изменчивость суточных, месячных и годовых сумм радиации количественно оценивается средним квадратическим отклонением. Эта статистическая характеристика необходима при анализе достоверности аномалий радиации, установлении однородности поля радиации, а так же может использоваться как критерий для оценки предельных ошибок пространственной корреляции (в случаях однородного поля).

Средние квадратические отклонения месячных или средних месячных суточных сумм радиации характеризуют межгодовую изменчивость, отклонения суточных сумм - межсуточную изменчивость –

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

где  $\delta$  - среднеквадратическое отклонение

Средние квадратические отклонения сумм радиации разного масштаба осреднения являются показателем устойчивости радиационного режима. При этом целесообразно рассматривать относительное изменение значения среднеквадратического отклонения (по отношению к среднему) - так называемый коэффициент вариации [20].

Ценность статистических характеристик заключается в том, что они выражают основные особенности эмпирических распределений и позволяют рассчитать параметры аналитического выражения при аппроксимации распределений.

### 2.3 Основные радиационные показатели при оценке обеспеченности гелиоресурсами

При выборе комплекса радиационных показателей для сравнительной оценки гелиоресурсов в различных широтных зонах учитываются те показа-

тели, которые отражают средний многолетний режим, изменчивость и временную структуру радиации, а так же особенности суточного хода. В комплекс включаются пять показателей.

Первый показатель. Из трех видов коротковолновой радиации - прямая, рассеянная и суммарная - для выбора показателя выделена суммарная радиация, поскольку она является основной составляющей радиационного (режима) баланса земной поверхности. Кроме того, наиболее полно изучена изменчивость часовых, суточных, месячных и годовых сумм суммарной радиации, а так же оценен вклад сумм суммарной радиации за центральные месяцы сезонов в годовую сумму. Это позволяет использовать четырех месячные суммы при сравнении одного пункта с другим в качестве годового показателя. Общая сумма месячных сумм радиации за четыре центральных месяца принимается за первый показатель.

Второй показатель. При оценке гелиоресурсов важно учитывать процентное соотношение прямой и рассеянной радиации в общей сумме суммарной радиации. Прямая радиация, поступающая на приемную поверхность солнечной установки, в зависимости от типа приемного устройства, может преобразовываться в тепловую или электрическую (при использовании фотопреобразователей) энергию.

При равных суммах суммарной радиации в двух районах, преимущество в отношении гелиоэнергоресурсов отдается тому району, в котором большая доля (в суммарной радиации) приходится на прямую, а меньшая - на рассеянную радиацию. В связи с этим в качестве второго показателя используется отношение годовой суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность к годовой сумме прямой радиации для каждого пункта.

Третий показатель. В качестве третьего показателя используется характеристика, учитывающая внутримесячную изменчивость суточных сумм суммарной радиации.

Четвертый показатель. Для учета особенностей суточного хода в от-



ношении изменения энергетического уровня радиации был выбран четвертый показатель - число часов суммарной радиации со средней часовой мощностью более 600 (Вт/м<sup>2</sup>) в годовой совокупности многолетних суточных ходов. Уровень 600 (Вт/м<sup>2</sup>) 0.86 (кал/см<sup>2</sup> \*мин) можно считать приемлемым, поскольку согласно критерию Вейнберга [24], прямая солнечная радиация технически приемлема, когда ее интенсивность составляет 419 (Вт/м<sup>2</sup>) или 0.6 (кал /см<sup>2</sup>\*мин).

Пятый показатель. В качестве пятого показателя используется относительная характеристика межгодовой изменчивости - коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации. Данный коэффициент отражает степень устойчивости (из года в год) радиационного режима и поэтому является показательным при сравнительных оценках отдельных районов.

## 2.4 Оценка производительности гелиоустановок

Для того чтобы оценить обеспеченность гелиоэнергоресурсами по характеристикам радиационного режима необходимо выполнить расчеты производительности гелиоустановок по определенной методике [25]. Согласно этой методике, производительность в зависимости от продолжительности солнечного сияния определялась по уравнению регрессии (2.4).

$$G = \alpha\tau - b, \quad (2.4)$$

где  $G$  - месячная производительность установки (в тыс. ккал/м<sup>2</sup>) эффективной поверхности отражения;  $\tau$  - число часов солнечного сияния в месяц;  $a$ ,  $b$  - численные коэффициенты;

Кроме того, производительность солнечных установок так же определялась и по уравнению регрессии:

$$G = a + b\tau + c\tau^2 \quad (2.5)$$

где  $G$  - имеет то же значение;

а, б, с - численные коэффициенты;

х - сумма прямой радиации на перпендикулярную к лучам поверхность (в тыс. ккал /м<sup>2</sup>) в месяц; 1 ккал/ см<sup>2</sup> = 41.9 м Дж/м<sup>2</sup>.

Численные коэффициенты определяются в зависимости от типа установок. Ниже приводятся значения этих коэффициентов для трех типов установок: ГУ-10, абсорбционного холодильника в блоке с ГУ-10 и солнечной теплосиловой станции (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Значение коэффициентов, входящих в уравнение регрессии

Солнечные установки	Зависимость между месячной производительностью и числом часов сияния.		Зависимость между месячной производительностью и суммарной радиации.		
	а	в	а'	в'	с'
ГУ-10	0.346	120	11.1	0.141	0.00131
Абсорбционный холодильник в блоке с ГУ-10	0.0985	6.26	3.52	-0.0091	0.000532
Солнечная станция	0.366	20.1	1.1	0.206	0.00118

Важное значение имеет непосредственное преобразование солнечной энергии в электрическую. Речь идет о солнечных фотобатареях и термоэлектрогенераторах. В работе [25] так же была предложена методика по которой определяется месячная выработка энергии в кВт\*ч на 1 м<sup>2</sup> отражателя. Она определялась по уравнениям регрессии (2.4) и (2.5).

$$W = 0.234\tau - 0.208 \quad (2.6)$$

Где  $W$  - месячная выработка энергии термогенераторами (кВт\*ч/м<sup>2</sup>);  
 $\tau$  - число часов солнечного сияния за месяц;

$$W = 0.0358 \times Q - 0.268 \quad (2.7)$$

где  $W$  - имеет то же значение;

$Q$  – месячная сумма прямой радиации ( тыс. ккал/м<sup>2</sup> );

Таким образом, зная месячную сумму прямой радиации или число часов солнечного сияния за месяц, можно рассчитать месячную выработку энергии.

### 3 Оценка обеспеченности гелиоэнергоресурсами Ростовской области

#### 3.1 Климатические характеристики режима солнечной радиации

Для оценки потенциальных гелиоэнергетических ресурсов на той или иной территории, обоснования технико-конструкторских показателей различных гелиосистем, оценки экономической эффективности в различное время года в определенном месте необходимо иметь данные кадастра солнечной энергии.

К кадастровой оценке относятся данные годового и суточного хода месячных сумм прямой радиации, а так же рассеянной и суммарной радиации. Эти данные, в первую очередь, позволяют количественно оценить гелиоэнергетический потенциал местности, основной вклад в который вносят суммы прямой солнечной радиации.

На начальном этапе были проанализированы среднемесячные величины радиационного баланса (приложение А). В качестве исходного материала были взяты многолетние данные [26]. В качестве примера на рисунке 3.1 представлен годовой ход радиационного баланса в основные актинометрические сроки наблюдения для станции Гигант.

Из рисунка 3.1. видно, что максимальное значение радиационного баланса наблюдается в дневные сроки и приходится июнь-июль. Наибольшая средняя величина в июне в полдень составляет 0.63 (кВт/м<sup>2</sup>). Минимальное в годовом ходе значение приходится на декабрь - январь и составляет - 0.06 (кВт/м<sup>2</sup>). Резкое изменение интенсивности баланса наблюдается весной и осенью в связи со сходом и установлением снежного покрова.

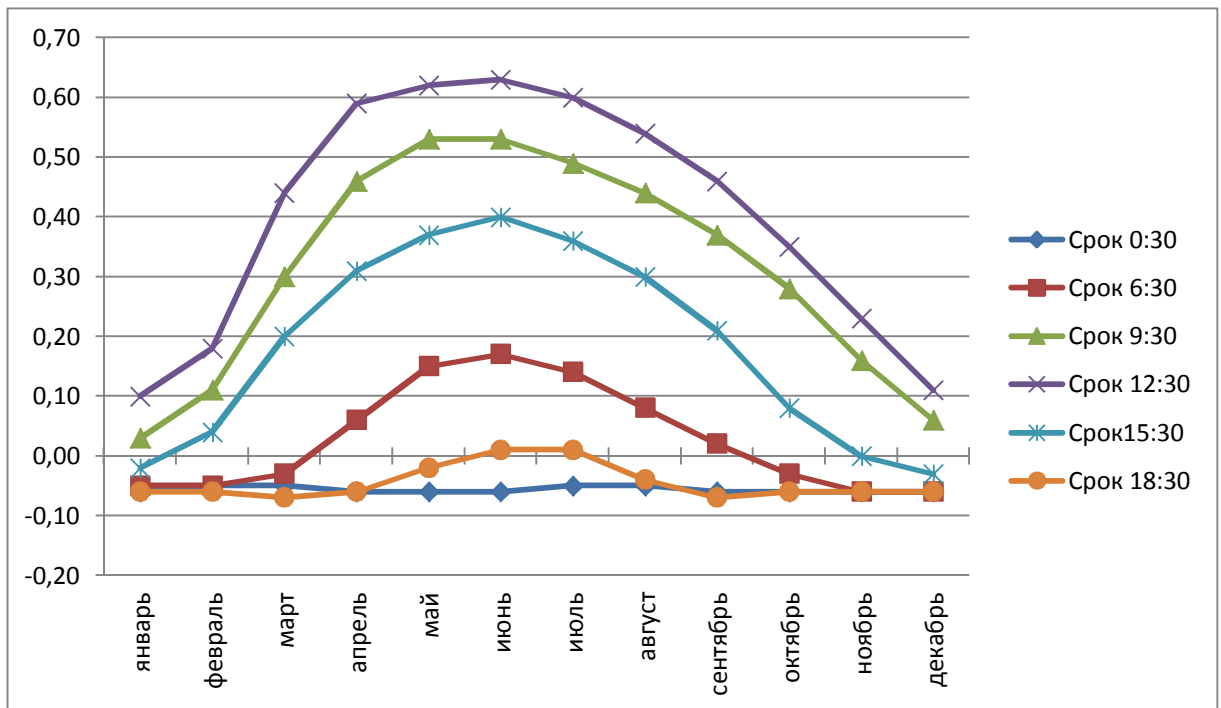


Рисунок 3.1 - Годовой ход радиационного баланса (В) ст. Гигант

При выявлении гелиоэнергетических ресурсов той или иной местности данные наблюдений за продолжительностью солнечного сияния являются существенным моментом в определении на начальном этапе перспективности района. Продолжительность солнечного сияния определяется в основном продолжительностью дня и режимом облачности. Существенным показателем возможностей использования солнечной энергии является число часов солнечного сияния, фиксируемое гелиографом.

Были оценены, средняя многолетняя продолжительность для различных месяцев и в целом за год вычисленная путем подсчета за период наблюдений. С этой целью была составлена сводная таблица продолжительности солнечного сияния и ее среднеквадратического отклонения (приложение Б), а так же построен график годового хода продолжительности солнечного сияния (рисунок 3.2). Из рисунка видно, что наибольшая продолжительность солнечного сияния приходится на июнь и июль, а наименьшая на декабрь и январь. Значения продолжительности сияния для

ст. Гигант колеблется от 41 часа в декабре до 320 в июле. В целом за год сумма сияния составила 2171 час.

Среднее квадратическое отклонение месячной и годовой продолжительности солнечного сияния характеризуют изменчивость солнечного сияния от года к году, то есть рассеяние погодичных данных относительно средней многолетней.

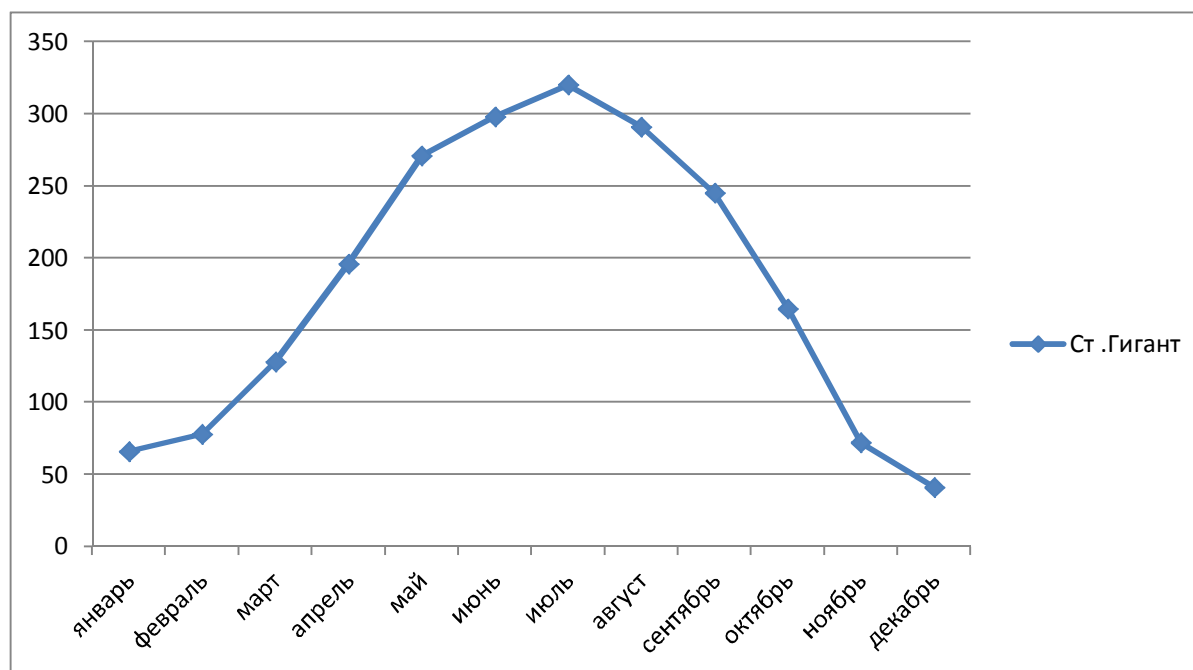


Рисунок 3.2 - Годовой ход продолжительности солнечного сияния для станции Гигант

Среднеквадратическое отклонение мало изменяется в течение года.

Так же для выявления перспективности района было проанализировано количество дней без солнца, средняя продолжительность за день с солнцем, отношение истинной продолжительности солнечного сияния к возможной (Прилож.В).

Количество дней без солнца проиллюстрировано на рис. 3.3. Анализируя данный график видно, что наиболее пасмурными для станций Гигант месяцами были зимние и самый неблагоприятный из них - декабрь. Так, число пасмурных дней в декабре составило 18. А годовое количество дней без солнца составило 74.

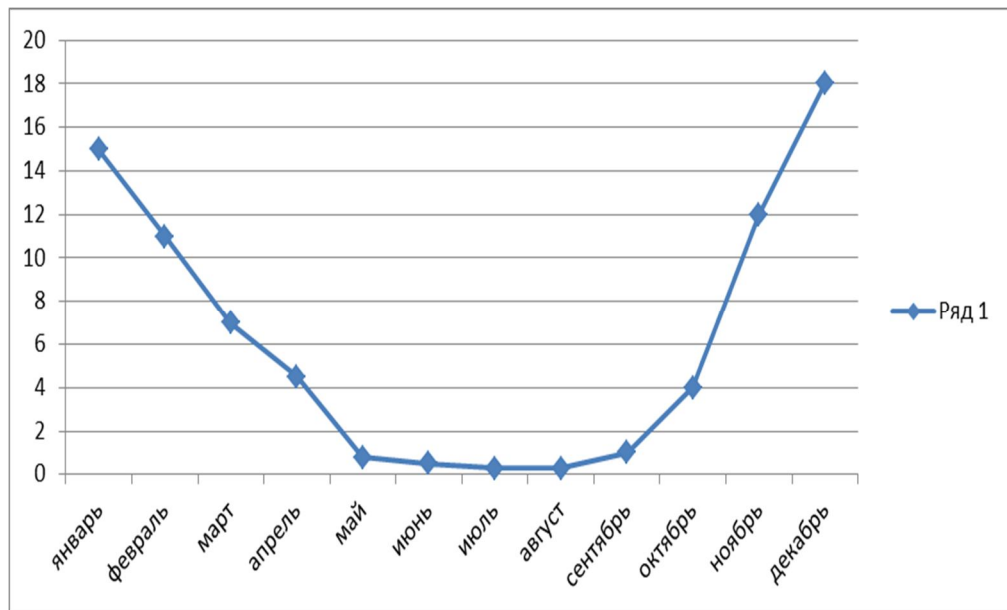


Рисунок 3.3- Количество дней без солнца.

Необходимым условием успешной и бесперебойной работы гелио-энергетической установки является непрерывность облучения, так как всякий перерыв в поступлении радиации вызывает соответственно перерыв в подаче энергии потребителю. Поэтому были рассмотрены периоды непрерывного солнечного сияния, причем длительность этих периодов должна быть такой, чтобы солнечная установка успела разогреться и обеспечить некоторую полезную отдачу.

Значения отношения истинной продолжительности солнечного сияния к возможной для ст. Гигант изменяются от 15% в декабре до 70% в июле.

Существенным показателем работы установки является также средняя продолжительность за день с солнцем в часах. К примеру, для того чтобы показать важность этого показателя рассмотрим установку, для успешной работы которой, требуется не менее 5 часов непрерывного облучения. Из таблицы (приложение В) видно, что установка будет работать в пос. Гигант с марта по сентябрь включительно.

Была так же составлена таблица суточного хода продолжительности

солнечного сияния (приложение Г). Для ст. Гигант были выбраны два наиболее характерных месяца для зимы декабрь и для лета июль и построен суточный ход (рисунок 3.4). Из анализа таблицы Г. 1 и графика видно, что наиболее солнечными были летние месяцы июль и самые солнечные часы дня приходятся на околополуденные часы.

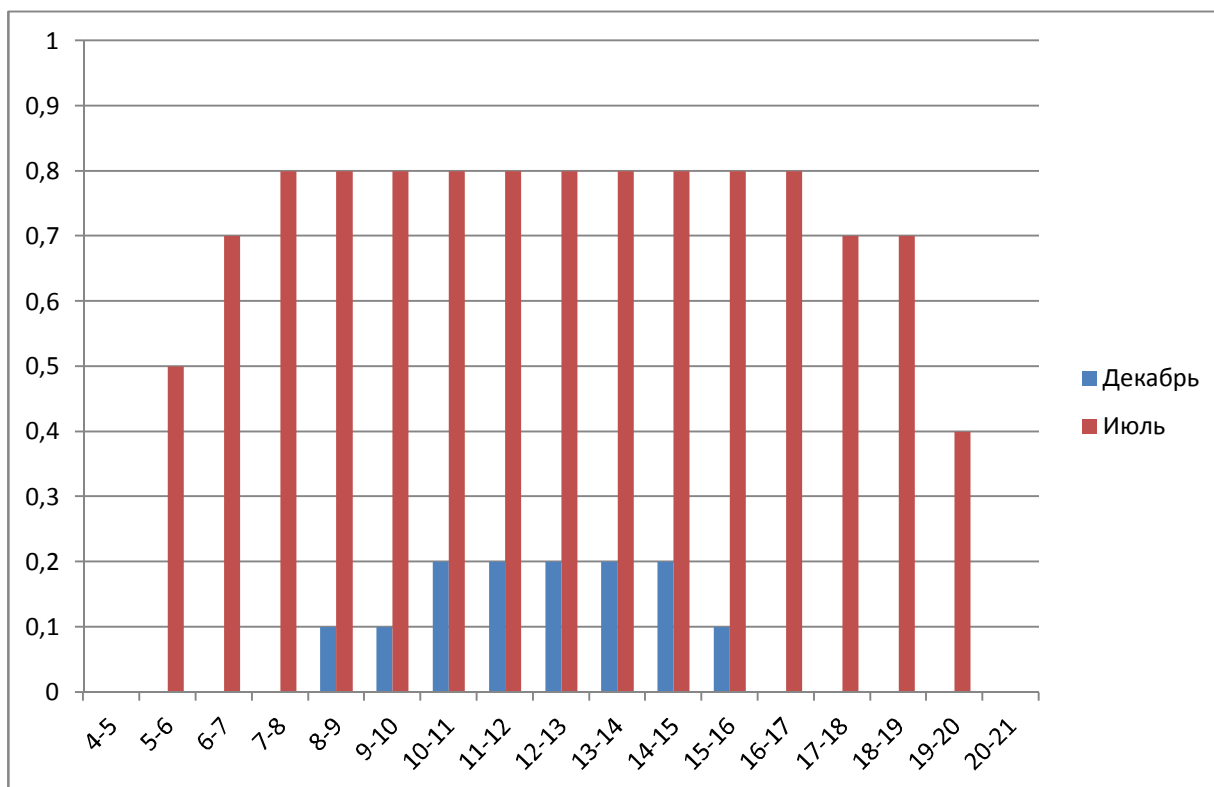


Рисунок 3.4- Суточный ход средней многолетней продолжительности солнечного сияния (т). Ст. Гигант

В наиболее солнечные месяцы в околополуденные часы среднемесячная продолжительность солнечного сияния колеблется от 0.8 часа за час.

Этот материал необходим для оценки производительности гелиоустановок в наиболее благоприятных условиях и позволяет провести расчеты, как по отдельным месяцам, так и для сезона работы в целом.

Прямая солнечная радиация. Определение сумм радиации является первым и необходимым условием при оценке радиационного климата с точки зрения использования солнечной энергии.



Представление о приходе прямой радиации дает распределение энергетической освещенности солнечной радиации по основным актинометрическим срокам наблюдение в различные месяцы года (приложение Д). В зимние месяцы околополуденный приход прямой радиации может достигать  $0.82 \text{ (кВт/м}^2\text{)}$  В летние время значение прямой радиации в полуденные часы составляет для ст. Гигант  $0.86 \text{ (кВт/м}^2\text{)}$ . Для выявления более подробного распределения прихода прямой радиации была рассмотрена таблица часовых значений сумм прямой радиации на горизонтальную поверхность (приложение Е).

В качестве примера на рисунок 3.5 представлен суточный ход сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность. С этой целью была рассчитана годовая сумма прямой радиации, она составляет  $10476 \text{ (мДж/ м}^2\text{)}$ .

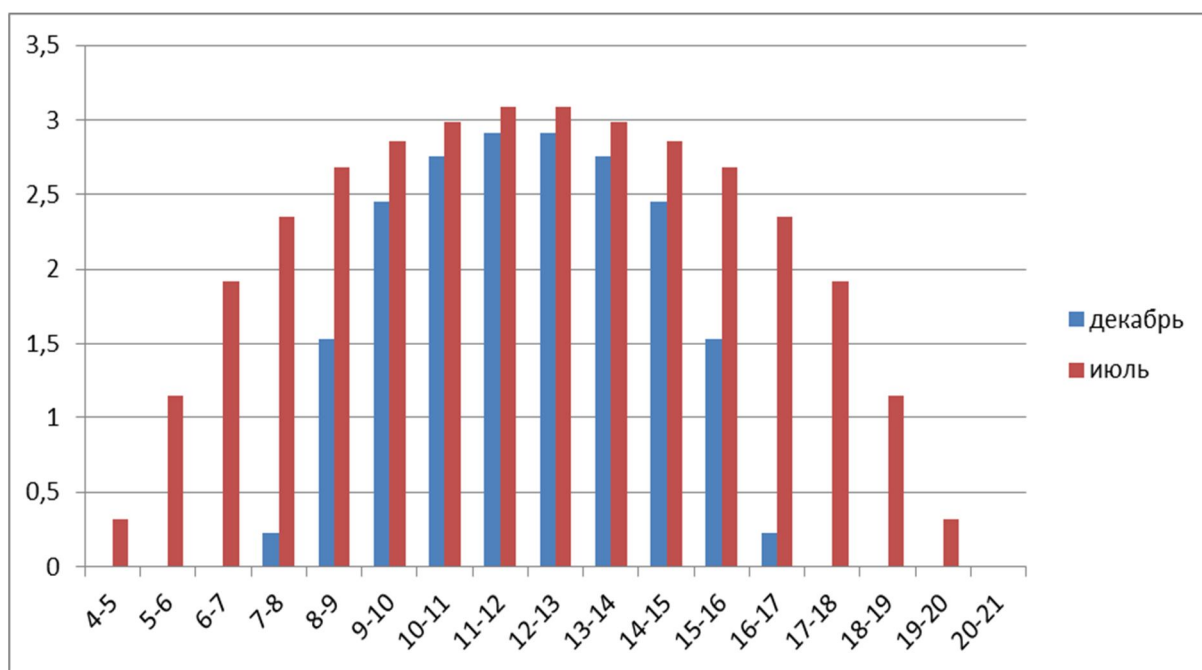


Рисунок 3.5 - Суточный ход сумм прямой солнечной радиации (S) на горизонтальную поверхность при ясном небе на ст. Гигант

Рассеянная и суммарная радиация.

Известный интерес для установок с плоскими приемниками энергии

представляет так же суточный ход рассеянной радиации для ясного дня, поскольку эти установки используют и рассеянную радиацию. Для этой цели была построена таблица энергетической освещенности рассеянной и суммарной радиации при ясном небе (приложение Ж, 3), а для наглядного отображения был построен график суточного хода рассеянной радиации для центральных месяцев (июль, декабрь) для ст. Гигант (рисунок 3.6).

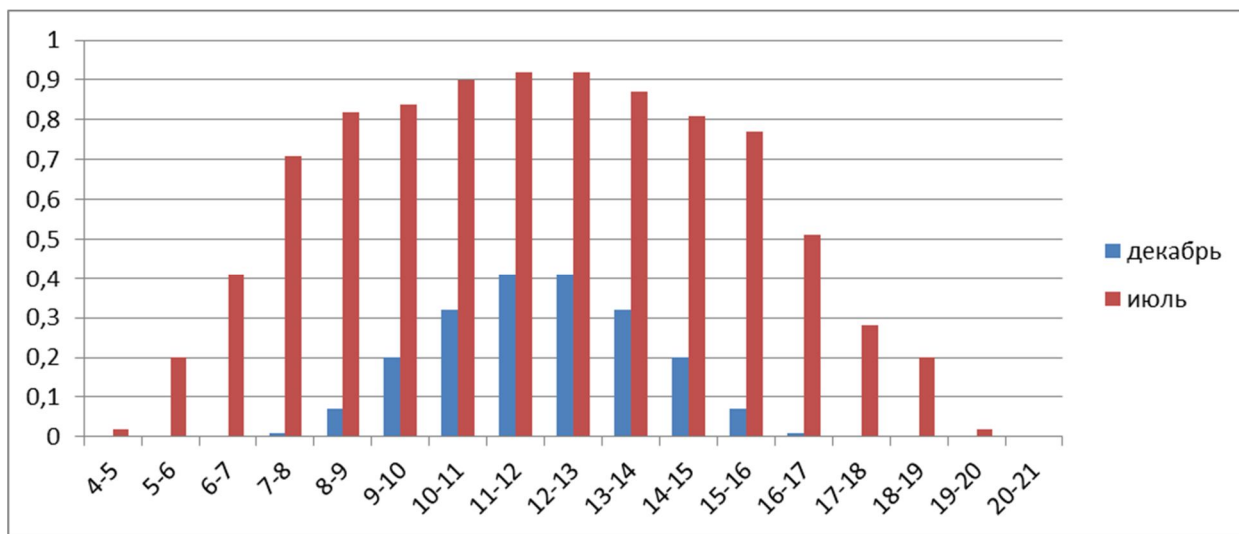


Рисунок 3.6 - Суточный ход суммы рассеянной радиации (Д) для центральных месяцев на ст. Гигант

Из анализа видно, что максимальное значение рассеянной радиации приходится на июль месяц, когда наблюдается максимум в поступлении солнечной радиации на верхнюю границу атмосферы. 0,92 (мДж/м<sup>2</sup>). Значение годовых сумм рассеянной радиации на ст. Гигант 2276 (мДж/м<sup>2</sup>).

Из рисунка 3.6. видно, сумма рассеянной радиации принимает наибольшие значения между 11 и 13 часами.

### 3.2 Анализ температурных условий работы солнечных устройств

Информация о радиационном режиме нам крайне необходима для оценки гелиоресурсов, но вместе с тем для нас существенна и некоторая дру-

гая информация. Так, например, знание температурного режима необходимо для расчета тепловых потерь солнечных аппаратов, а для установок без концентраторов так же и продолжительности сезона их работы. В связи с этим была составлена сводная таблица среднемесячных температур воздуха, а так же их среднеквадратических отклонений (приложение К). Так же был построен график годового хода среднемесячной температуры воздуха (рисунок 3.7).

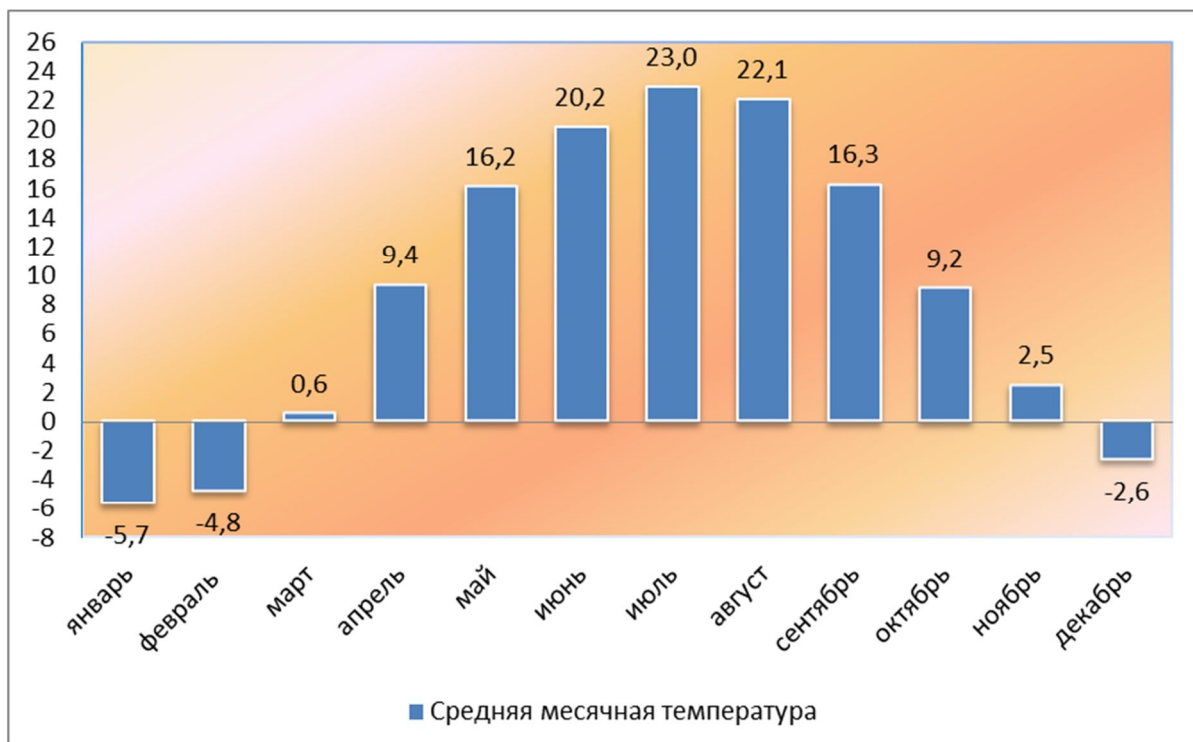


Рисунок 3.7 - Годовой ход среднемесячной температуры для ст. Гигант

Кроме среднемесячных температур воздуха так же была составлена таблица среднеминимальных и среднемаксимальных значений температур воздуха (таблица 3.2). При расчете принималось, что среднемаксимальные температуры следует считать за максимальные значения температур ясных дней, а среднеминимальные температуры за минимальные ночные температуры, то есть температуры, до которых возможно охлаждение установки ночью.

Таблица 3.2 - Среднемаксимальные ( $t_{\max \text{ ср}}$ ), среднеминимальные ( $t_{\min \text{ ср}}$ ) температуры по ст. Гигант

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Гигант													
$t_{\max \text{ ср}}$	-1.9	-1.1	4.9	15.5	22.4	26.4	29.1	28.3	22.6	14.3	7.0	0.8	14.0
$t_{\min \text{ ср}}$	-8.0	-8.0	-2.8	4.9	10.9	14.7	16.9	15.9	10.6	4.6	0.0	-4.9	4.6

### 3.3 Расчет радиационных показателей.

Как уже отмечалось в 2.3. в качестве радиационных показателей были выбраны:

- 1) Четырехмесячные суммы суммарной радиации (сумма за четыре центральных месяца: январь, апрель, июль, октябрь (м Дж/ м<sup>2</sup>).
- 2) Отношение (%) годовой суммы прямой радиации на горизонтальную поверхность к годовой сумме суммарной радиации (по данным актинометрических наблюдений).
- 3) Число часов суммарной радиации со средней часовой мощностью более 600 (Вт/м<sup>2</sup>) в годовой совокупности многолетних суточных ходов.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Основные радиационные показатели ст. Гигант

Станция Гигант (Ростовская область)	Показатель (признак)		
	1	2	3
	1629	77.0	22.0

### 3.4 Оценка производительности некоторых гелиоустановок

Использование солнечной радиации для производства холода является одной из наиболее целесообразных и обоснованных схем потребления лучи-

стой энергии Солнца. Потому как наибольшая потребность в холоде как нельзя лучше совпадает с наибольшим приходом радиации. Так же в последние годы новым направлением в развитии гелиотехники стали исследования по созданию солнечных теплосиловых станций. Важность их в том, что они могут стать основой промышленного использования солнечной радиации.

По характеристикам радиационного режима были проведены расчеты производительности трех типов гелиоустановок с концентрацией солнечной энергии: установки ГУ-10, абсорбционного холодильника в блоке с ГУ-10 и солнечной теплосиловой станции (Таблица 3.4).

Согласно приведенным расчетам можно сделать вывод о перспективности таких солнечных установок в Ростовской области.

При расчете производительности этих установок для поселка Гигант использовалась методика, изложенная в разделе 2.

Таблица 3.4 - Производительность гелиоустановок ( МДж/ м<sup>2</sup>) в летний и зимний период

Сезон	ГУ-10	ГУ-10 в блоке с абсорбционным холодильным агрегатом	Солнечная теплосиловая станция
июль	210.000	65.000	220.000
декабрь	45.000	8.000	40.000

В работе получена так же возможная производительность солнечных устройств при непосредственном преобразовании солнечной энергии в электрическую.

Были произведены расчеты, согласно которым месячная выработка энергии термогенераторами для июля на ст. Гигант составит 10 (кВт\*ч / м<sup>2</sup>), а для декабря 4 (кВт\*ч/м<sup>2</sup>).

## Заключение

В данной работе была проведена оценка обеспеченности гелиоэнергоресурсами Ростовской области на примере пункта посёлок Гигант. Были получены такие характеристики, как годовой ход радиационного баланса, продолжительность солнечного сияния, число дней без солнца, среднемесячная температура воздуха, суточный ход среднемноголетней продолжительности солнечного сияния, сумм прямой радиации, сумм рассеянной радиации, проведен анализ этих характеристик. В дополнение к радиационному режиму, для полноты изложения и облегчения расчетов теплопотерь гелиоустановок также приведены среднемесячные, минимальные и максимальные температуры в различное время года. Рассчитаны некоторые радиационные показатели солнечной радиации.

В заключение выполненных расчетов приведен расчет производительности некоторых солнечных установок с точки зрения эффективности их использования.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о перспективности гелиоэнергетики в Ростовской области, на это указывают все радиационные характеристики.

Как показал анализ, для Ростовской области рационально использовать солнечную радиацию, как источник тепловой энергии. Наиболее высокая выработка энергии приходится на летние месяцы. Приведенные расчеты позволяют сделать предположение, об эффективности применения установки ГУ-10 и солнечной теплосиловой станции. Выполненные исследования могут послужить основой для дальнейших инженерных и технико-экономических расчетов солнечных установок.

## Список литературы

- 1 Карлов В.Б., Энергетика и природа [Текст] В.Б.Карлов, -М.: Мысль, 1982.-92 с.
- 2 Кириллин В.А., Энергетика сегодня и завтра [Текст] В.А.Кириллин, - М.: Педагогика, 1983.-127 с.
- 3 Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии [Текст] – М.: Знание, 1980. – 88 с.
- 4 Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В. Солнечная энергетика. Учебное пособие для вузов . М. 2010.-230 с.
- 5 Солнечная энергия для человека [Текст, Формулы] Пер. с англ. под ред. Б.В. Тарнижевского, - М.: Мир, 1976. - 283с.
- 6 Сванидзе Г.Г, Возобновляемые энергоресурсы Грузии. Гелио-, ветро - , и гидроэнергитические ресурсы [Текст] Г.Г. Сванидзе, В.П. Гагуа, Э.В. Су- хишвили, - Л.:Гидрометеиздат, 1987—173с.
- 7 Маркус Т.А, Здание, климат и энергия [Текст] Т.А. Маркус, Э.И. Мор- рис, Пер.с англ. под. ред. Н.В. Кобышевой, Е.Г. Машевской, - Л.: Гидроме- тиздат, 1985. - 542с.
- 8 Шейндили А.Е, Новая энергетика [Текст, Рисунки] А.Е. Шейндили - М.: Наука, 1987.-463с.
- 9 Прикладная климатология. [Текст] Сборник трудов Всесоюзного сове- щания по прикладной климатологии, - Л.: Гидрометиздат, 1990. - 272с.
- 10 Шадрин В.И. Автономные солнечные установки с концентраторами солнечного излучения.М.2011.
- 11 Солнечная энергетика [Текст] Пер.с англ. и фр. Под ред. Ю.В. Малев- ского, М.М. Колтуна, - М.: Мир, 1979.-390с.
- 12 Журнал «Энергосовет», №5,2011.
- 13 Основы прикладной метеорологии [Текст] Пер. с англ. Под. ред. Л.Т Матвеева, Л.: - Гидрометеиздат, 1978.-690с
- 14 Русин Н.П., Прикладная актинометрия [Текст] Н.П. Русин, - Л.: Гидро-

метиздат, 1979.-231с.

15 Кондратьев К.Я., Актинометрия [Таблицы] К.Я. Кондратьев, - Л.: Гидрометеиздат, 1965. - 690с.

16 Берлянд Т.Г. Климатологические исследования режима солнечной радиации для использования их в гелиотехнических целях[Текст] Т.Г. Берлянд, – Труды ГГО,1980.вып.427.– с.3 – 35.

17 Шеер Г. Восход солнца в мировой экономике. Стратегия экологической модернизации. Пер. с немец., (М.: Тайдекс, 2002.

18 Пивоварова З.И., Климатологические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР [Текст] З.И. Пивоварова, В.В. Стадник , - Л.: Гидрометеиздат, 1988. -291с.

19 Рекомендации по определению климатических характеристик гелио-энергетических ресурсов на территории СССР [Текст, таблицы], - Л.: Гидрометеиздат, 1987.-90с.

20 Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации [Текст, формулы] С.И Сивков, - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 231с.

21 Пивоварова З.И., Радиационные характеристики климата СССР [Текст] З.И. Пивоварова - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 335с.

22 Кобышева И.В., Климатологическая обработка метеорологической информации [Текст] И.В. Кобышева, Г .Я. Наровлянский . - Л.: Гидрометеиздат, 1978.-230с.

23 Стадник В.В., Статистические характеристики суточных сумм суммарной радиации [Таблицы] В.В. Стадник, - Труды ГГО, 1980. вып.412 - с.41-51.

24 Тарнижевский Б.В., Определение показателей работы солнечных установок в зависимости от характеристик солнечного режима [Текст,формулы] Б.В. Тарнижевский, - Теплоэнергетика, вып.2. 1989. - 140с.

25 Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер.3. Многолетние данные, Вып.13 - Л.: Гидрометеиздат, 1988 – 692 с.



Таблица А. - Среднемесячные величины радиационного баланса по срокам наблюдений ст. Гигант.

Месяц	Гигант					
	<b>0.30</b>	<b>6.30</b>	<b>9.30</b>	<b>12.30</b>	<b>15.30</b>	<b>18.30</b>
1	-0.06	-0.05	0.03	0.10	-0.02	-0.06
2	-0.05	-0.05	0.11	0.18	0.04	-0.06
3	-0.05	-0.03	0.30	0.44	0.20	-0.07
4	-0.06	0.06	0.46	0.59	0.31	-0.06
5	-0.06	0.15	0.53	0.62	0.37	-0.02
6	-0.06	0.17	0.53	0.63	0.40	0.01
7	-0.05	0.14	0.49	0.60	0.36	0.01
8	-0.05	0.08	0.44	0.54	0.30	-0.04
9	-0.06	0.02	0.37	0.46	0.21	-0.07
10	-0.06	-0.03	0.28	0.35	0.08	-0.06
11	-0.06	-0.06	0.16	0.23	0.00	-0.06
12	-0.06	-0.06	0.06	0.11	-0.03	-0.06

Таблица Б.1 - Продолжительность солнечного сияния ( $\tau$  часы) и ее среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ . часы) для станции Гигант

$\tau$ (часы)	Месяцы												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ГОД
Гигант													
$\tau$ (часы)	66	78	128	196	271	298	320	291	245	165	72	41	2171
$\sigma$ (часы)	35	30	37	40	33	35	27	37	35	38	30	16	111

Таблица В. 1 - Число дней без солнца ( $n$ ). отношение истинной продолжительности солнечного сияния к возможной ( $P$ . %), средняя

$n$ (дни).	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
$P$ (%).													
$p$ (часы)													
Ст. Гигант													
$n$ (дни)	15	11	7	4	0.8	0.5	0.3	0.3	1	4	12	18	74
$P$ (%)	24	27	35	49	59	64	70	69	65	49	25	15	49
$p$ (часы)	4.1	4.6	5.3	7.5	9.0	10.1	10.4	9.5	8.4	6.1	4.0	3.2	7.5

Таблица Г. 1 - Средняя многолетняя продолжительность солнечного сияния за часовые интервалы, ст. Гигант.

Месяц Года	Часовой интервал																
	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21
1				0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0				
2			0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.1	0.0			
3		0.0	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0.0		
4		0.1	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.1		
5	0.0	0.3	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.3	0.0	
6	0.1	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.1	
7	0.0	0.5	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.4	0.0	
8	0.0	0.2	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.2		
9		0.0	0.4	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.4	0.0		
10			0.1	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.1			
11				0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0				
12				0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0				

Таблица Д.1 - Энергетическая освещенность прямой солнечной радиацией (S) к Вт/м<sup>2</sup> при ясном небе

Ст. Гигант	Срок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	6.30			0.31	0.48	0.58	0.61	0.53	0.48	0.40	0.24		
	9.30	0.67	0.76	0.85	0.83	0.83	0.82	0.80	0.79	0.80	0.79	0.78	0.62
	12.30	0.82	0.87	0.93	0.89	0.87	0.88	0.86	0.84	0.85	0.85	0.83	0.75
	15.30	0.44	0.66	0.75	0.75	0.76	0.79	0.75	0.72	0.69	0.60	0.46	0.30
	18.30				0.13	0.27	0.41	0.32	0.17				

Таблица Е .1 - Суммы прямой солнечной радиации S (МДж/ м<sup>2</sup>) на горизонтальную поверхность при ясном небе ст. Гигант

Месяц года.	Часовой интервал.																			
	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	Ю- II	11- 12	12- 13	13- 14	14-15	15-16	16- 17	17-18	18-19	19-20	20-21	За сут	За мес
1					0.23	1.53	2.45	2.76	2.91	2.91	2.76	2.45	1.53	0.23					19.76	613
2				0.03	1.12	2.25	2.79	2.99	3.12	3.12	2.99	2.79	2.25	1.12	0.03				24.60	689
3				1.08	2.04	2.68	3.07	3.25	3.32	3.32	3.25	3.07	2.68	2.04	1.08				30.88	957
4			0.47	1.71	2.30	2.73	3.04	3.14	3.20	3.20	3.14	3.04	2.73	2.30	1.71	0.47	0.00		33.18	995
5		0.15	1.15	1.94	2.45	2.79	2.99	3.09	3.14	3.14	3.09	2.99	2.79	2.45	1.94	1.15	0.15		35.40	1097
6		0.64	1.51	2.17	2.58	2.86	2.99	3.12	3.17	3.17	3.12	2.99	2.86	2.58	2.17	1.53	0.64		38.10	1143

Продолжение таблицы

Месяц года.	Часовой интервал.																			
	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-го	20-21	За сут	За мес
7		0.32	1.15	1.94	2.35	2.68	2.86	2.99	3.09	3.09	2.99	2.86	2.68	2.35	1.92	1.15	0.32		34.72	1076
8		0.01	0.59	1.71	2.22	2.61	2.86	2.96	3.04	3.04	2.96	2.81	2.56	2.22	1.71	0.59	0.01		31.90	989
9			0.14	1.28	2.02	2.53	2.84	3.00	3.10	3.10	3.00	2.84	2.53	2.02	1.28	0.14			29.82	895
10				0.28	1.53	2.30	2.73	2.94	3.07	3.07	2.94	2.73	2.30	1.53	0.28				25.70	797
11					0.80	1.92	2.66	2.89	3.02	3.02	2.86	2.63	1.92	0.80					22.52	676
12					0.12	1.33	2.12	2.55	2.73	2.73	2.55	2.12	1.33	0.12					17.70	549

Таблица Ж.1 -Энергетическая освещенность рассеянной радиации (Д, кВт/м<sup>2</sup>). Ст. Гигант

Месяц года	Ст. Гигант				
	6.30	9.30	12.30	15.30	18.30
1		0.09	0.15	0.05	
2		0.14	0.20	0.09	
3	0.01	0.19	0.24	0.14	
4	0.04	0.22	0.26	0.18	0.01
5	0.10	0.24	0.28	0.20	0.04
6	0.14	0.24	0.28	0.20	0.06
7	0.12	0.22	0.26	0.21	0.06
8	0.08	0.20	0.24	0.18	0.03
9	0.03	0.17	0.21	0.14	
10	0.01	0.14	0.17	0.08	
11		0.09	0.12	0.03	
12		0.07	0.11	0.02	

Таблица 3.1 - Энергетическая освещенность суммарной радиации. Ст. Гигант

Месяц года	Ст. Гигант				
	<b>6.30</b>	<b>9.30</b>	<b>12.30</b>	<b>15.30</b>	<b>18.30</b>
1		0.12	0.23	0.06	
2		0.19	0.33	0.13	
3	0.02	0.32	0.44	0.23	
4	0.11	0.47	0.56	0.33	0.01
5	0.22	0.60	0.67	0.43	0.06
6	0.26	0.66	0.71	0.47	0.10
7	0.23	0.64	0.71	0.48	0.09
8	0.16	0.58	0.68	0.42	0.04
9	0.08	0.48	0.58	0.30	
10	0.02	0.31	0.39	0.15	
11		0.14	0.22	0.05	
12		0.09	0.15	0.02	



Таблица И.1 — Суммы рассеянной солнечной радиации  $D$  (МДж / м<sup>2</sup>), за часовые интервалы. Ст. Гигант

Месяц года.	Часовой интервал.																			
	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	За сут- ки	За ме- сяц
1					0.01	0.15	0.33	0.49	0.56	0.56	0.49	0.33	0.15	0.01					0.93	20
2				0.00	0.10	0.28	0.51	0.67	0.74	0.74	0.67	0.51	0.28	0.10	0.00				1.86	52
3				0.04	0.20	0.46	0.69	0.82	0.89	0.89	0.82	0.72	0.49	0.25	0.04				3.78	117
4			0.03	0.21	0.48	0.74	0.85	0.92	0.97	0.97	0.91	0.84	0.69	0.46	0.18	0.03			5.60	168
5		0.01	0.16	0.41	0.69	0.87	0.92	0.97	1.02	1.02	0.97	0.89	0.74	0.58	0.33	0.15	0.01		7.73	240
6		0.03	0.21	0.44	0.69	0.84	0.91	0.97	1.02	1.02	0.97	0.90	0.77	0.59	0.41	0.21	0.03		8.62	259

Продолжение таблицы

Месяц года.	Часовой интервал																			
	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	За сутки	За ме- сяц
7		0.02	0.20	0.41	0.71	0.82	0.84	0.90	0.92	0.92	0.87	0.81	0.77	0.51	0.28	0.20	0.02		8.10	251
8		0.00	0.09	0.28	0.59	0.74	0.76	0.85	0.87	0.87	0.84	0.74	0.67	0.33	0.20	0.09	0.00		6.53	2
9			0.01	0.13	0.44	0.61	0.69	0.74	0.77	0.77	0.74	0.67	0.52	0.23	0.10	0.01			4.31	129
10				0.02	0.14	0.37	0.53	0.61	0.61	0.61	0.57	0.47	0.34	0.13	0.02				1.97	61
11					0.02	0.15	0.31	0.43	0.46	0.46	0.43	0.31	0.15	0.02					0.69	21
12					0.01	0.07	0.20	0.32	0.41	0.41	0.32	0.20	0.07	0.01					0.38	12

Таблица К.1 - Среднемесячные температуры воздуха (t.°C) и их среднеквадратические отклонения ст. Гигант

Месяц года	Ст. Гигант	
	t	τ
1	-5.7	3.6
2	-4.8	3.8
3	0.6	2.5
4	9.4	2.2
5	16.2	1.8
6	20.2	1.7
7	23.0	1.4
8	22.1	1.6
9	16.3	1.9
10	9.2	2.3
11	2.5	2.6
12	-2.6	3.1
год	8.9	0.8