

# СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И В ГОРНЫХ РЕГИОНАХ



НОО "ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ НАУКА"

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ  
КЫРГЫЗСКО-УЗБЕКСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Исманжанов А.И., Клычев Ш.И., Расаходжаев Б.С.

**СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ  
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И В ГОРНЫХ  
РЕГИОНАХ**

**КОЛЛЕКТИВНОЕ ИЗДАНИЕ**

2020

УДК 662.997.534; 621.31  
ББК 31  
С60

**Рецензенты:**

Абдурахманов Абдужаббор Абдурахманович, д.т.н. профессор  
Авезова Нилуфар Раббанакүловна, д.т.н., профессор  
Мирзабаев Акрам Махкамович, д.т.н., профессор

**Авторы:**

**Исманжанов А.И.,** Клычев Ш.И., Расаходжаев Б.С.

СОЛНЕЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И В ГОРНЫХ РЕГИОНАХ [Электронный ресурс]: коллективное издание – Эл. изд. - Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf: 131 с.). - **Исманжанов А.И.,** Клычев Ш.И., Расаходжаев Б.С. 2020. – Режим доступа: <http://scipro.ru/conf/solarplants.pdf>. Сист. требования: Adobe Reader; экран 10'.

ISBN 978-5-6044576-8-9

*Рекомендовано к изданию Ученым советом Международного института солнечной энергии АН РУЗ и кафедрой Компьютерные технологии и энергетика Кыргызско-Узбекского университета МОиКР.*

Проанализированы факторы влияния окружающей среды на теплотехнические и эксплуатационные характеристики гелиотехнических и теплоэнергетических устройств с использованием грунта. Определены факторы, влияющие на режим работы солнечных теплоэнергетических установок. Рассмотрены вопросы метода расчета солнечного потока, входящего в гелиоустановки. Расчетными и экспериментальными методами определены эксплуатационные и технико-экономические параметры солнечных теплоэнергетических установок. На основе разработанных научно-обоснованных рекомендаций, сконструирован ряд солнечных водонагревательных установок, приспособленных для эксплуатации в сельской местности и горных районах.

Разработана методика оценки и сравнения абсолютных и относительных технико-экономических параметров теплоэнергетических установок.

Разработана автономная фотоэлектрическая станция с номинальной мощностью 5 кВт с учетом особенностей горного региона для автономного электроснабжения в условиях Кыргызстана. Проведен анализ структур подключения и особенности потребления мощности фотоэлектрических станций, рассмотрены вопросы защиты от перенапряжения фотоэлектрических модулей. Исследованы эксплуатационные характеристики автономной фотоэлектрической станций с номинальной мощностью 5 кВт. Проведенные исследования автономной фотоэлектрической станций с номинальной мощностью 5 кВт на примере медицинского центра при Кыргызско-Узбекском университете для обеспечения бесперебойного и эффективного автономного электроснабжения, дают возможность масштабного их применения у потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети.

Для широкого круга читателей: аспирантов, соискателей, научных работников в области солнечных теплоэнергетических и фотоэлектрических установок, а также для студентов по направлению «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

ISBN 978-5-6044576-8-9



© **Исманжанов А.И.,** Клычев Ш.И., Расаходжаев Б.С. 2020  
© МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ, КЫРГЫЗСКО-УЗБЕКСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, 2020  
© Оформление: издательство НОО Профессиональная наука, 2020

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>6</b>
<b>ГЛАВА 1. ГРУНТОВЫЕ ГЕЛИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Состояние работ по разработке солнечных водонагревательных коллекторов.....	8
1.2. Гелиотехнические и теплотехнические устройства с использованием грунта .....	14
1.2.1. Гелиотеплицы и парники.....	14
1.2.2. Солнечные грунтовые опреснительные установки.....	18
1.2.3. Грунтовые аккумуляторы тепловой энергии.....	20
1.3. Методы расчета солнечного потока, входящего в гелиоустановку.....	22
<b>ГЛАВА 2. РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ .....</b>	<b>25</b>
2.1. Разработка тепловой модели солнечного грунтового водонагревателя .....	25
2.2. Исследование теплотехнических характеристик грунтовых солнечных водонагревателей .....	31
2.2.1. Исследование температуры нагрева грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов первого типа..	31
2.2.2. Теплотехнические характеристики грунтовой теплоизоляции солнечного водонагревателя (Теплофизические и механические свойства почвы Кыргызской Республики) .....	31
2.2.3. Исследование температуры нагрева грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов второго типа..	36
2.3. Методика расчета солнечного потока, входящего в гелиоустановку.....	39
<b>ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ .....</b>	<b>46</b>
3.1. Разработка грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов.....	46
3.2. Исследование температурного поля грунта в грунтовых солнечных водонагревательных коллекторах.....	50
3.3. Исследование теплотехнических характеристик грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов.....	58

<b>ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ГРУНТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК</b> .....	<b>73</b>
4.1. Исследование эксплуатационных характеристик грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов.....	73
4.2. Разработка солнечных водонагревательных установок на основе грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов	76
4.3. Экспериментальные исследования эксплуатационных.....	78
характеристик СВУ .....	78
4.4. Исследование технико-экономических показателей солнечных водонагревательных установок на основе грунтовых коллекторов.....	83
4.5. Погрешность измерений.....	86
<b>ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНЫХ АВТОНОМНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК</b> .....	<b>89</b>
5.1. Комплексная схема измерений для определения характеристик фотоэлектрических модулей.....	89
5.2. Анализ структур подключения и особенности потребления мощности фотоэлектрических станций .....	92
5.3. Исследование защиты от перенапряжения фотоэлектрических модулей.....	98
5.4. Разработка и исследование эксплуатационных характеристик автономной фотоэлектрической станций с номинальной мощностью 5 кВт в условиях Кыргызстана .....	103
<b>ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ</b> .....	<b>115</b>
<b>ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ</b> .....	<b>117</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	<b>118</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее перспективных областей использования солнечной энергии является ее применение для горячего водоснабжения и теплоснабжения.

Спрос на тепловую энергию, особенно в горных районах и сельской местности, по-прежнему удовлетворяется, главным образом, за счет использования традиционных источников: дров, угля, частично природного газа и электроэнергии. Удовлетворение хотя бы части потребности этой категории населения в тепловой энергии за счет использования солнечной энергии имеет большое экономическое, экологическое и социальное значение. Широкому использованию солнечной энергии в народном хозяйстве в республиках Средней Азии препятствует главным образом высокая стоимость существующих солнечных установок. В мировой практике уже накоплен большой опыт по разработке, созданию и эксплуатации солнечных водонагревательных установок различной конструкции. В настоящее время на рынке предлагаются различные типы солнечных водонагревательных коллекторов. Проблемы их практической реализации заключаются в их стоимости (от 200 до 400 долларов за 1 м<sup>2</sup>), поэтому продолжаются работы по созданию новых конструкций солнечных водонагревательных коллекторов с целью снижения их стоимости. Разработка эффективных конструкций передвижных солнечных водонагревательных коллекторов, приспособленных к условиям быта населения сельских районов и горных регионов, для обеспечения их гелиоустановками, способными обеспечить теплоснабжение и горячее водоснабжение, является актуальной научно-практической задачей.

Работы по созданию и эксплуатации солнечных водонагревательных установок интенсивно ведутся во многих странах мира: США, Швеция, Голландия, Китай и др. Анализ различных типов солнечных низкотемпературных установок [1-4], в частности, теплиц, воздухонагревателей и опреснителей показывает, что в виде части их конструкции может быть использован грунт. Учитывая, преимущество таких конструкций – относительная простота, а, следовательно, и низкая их стоимость, возможность быстрой их установки, позволяет говорить о целесообразности разработки на этой основе грунтовых солнечных водонагревательных установок. Работы [5,6] показывают, что в существующих солнечных установках с использованием как конструктивного элемента грунта, оценка их эффективности проводилась на основе приближенных аналитических зависимостей. Работы по использованию теплотехнических свойств грунта для создания новых конструкций солнечных водонагревательных коллекторов не проводились. Работы [7,8] показывают, что были проведены расчетные исследования на основе стационарных моделей. Для определения тепловой эффективности "обычных" конструкций солнечных коллекторов необходимы не

только стационарные, но и нестационарные модели. Определение тепловой эффективности грунтового солнечного водонагревателя с нестационарными моделями не проводились. В работах [9,10] в достаточной мере освещены вопросы расчета плотностей прямого и суммарного солнечного излучения, приходящиеся на поверхности, ориентированные в пространстве различным образом. Также учитываются отражение и поглощение солнечного излучения на прозрачных (стеклянном и пленочном) ограждениях в гелиоустановках. Необходимо отметить, что в указанных работах при различных условиях облачности атмосферы, величина прошедшего через прозрачное ограждение плоских солнечных коллекторов суммарного излучения будет различной.

Анализ известных работ указывает, что при разработке грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов необходимо провести как конструктивные, так и теплотехнические исследования, разработать методы и рекомендации по их использованию.

В последние годы в Узбекистане планируется строительство крупных и малых фотоэлектрических станций, поэтому важно знать климатические условия и производительность ФЭМ.

На производительность фотоэлектрических модулей (ФЭМ) большое влияние оказывают многие факторы, такие как солнечная радиация, температура окружающей среды, угол наклона и др. Кроме того, выходные характеристики фотоэлектрических систем постепенно ухудшаются с течением времени, под воздействием солнца и других условий окружающей среды. Согласно данным международной электротехнической комиссии (МЭК) ограниченный гарантийный период ФЭМ колеблется от 20 до 25 лет.

Целью исследования автономных фотоэлектрических станций является широкое внедрение инновационных идей, разработок и передовых технологий, гармонизация национальных нормативных документов с международными нормами, правилами и стандартами в строительстве на основе их изучения и анализа структуры подключения, определение категории номинальной мощности фотоэлектрических станций и разработка ГОСТов и строительных норм и правил (СНиП, ШНК) и пособия к ним.

# ГЛАВА 1. ГРУНТОВЫЕ ГЕЛИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## *1.1. Состояние работ по разработке солнечных водонагревательных коллекторов*

В мировой практике разработаны многочисленные конструкции солнечных водонагревательных коллекторов (СВК). По конструктивному исполнению они подразделяются на два основных типа – плоские и трубчатые. В свою очередь трубчатые СВК подразделяются на два вида: без концентрирующих солнечное излучение систем (для получения относительно невысоких (до 100°C) температур теплоносителя) и фокусирующие – с концентраторами солнечного излучения (СИ), для получения температур теплоносителя (нагреваемой жидкости) до 400°C [1- 6].

В мировой практике наиболее широкое распространение получили плоские солнечные коллекторы благодаря своей технологичности изготовления, достаточно высокому КПД и практичности.

Основными конструктивным элементами СВК являются теплоизолированный корпус – ящик, изготавливаемый из металла (в том числе черного или оцинкованного железа, алюминия), дерева, бетона, пластмассы, стеклоткани, каучука, композиционных и других материалов, в котором размещается теплоприемник - металлический тепловоспринимающий абсорбер, где происходит преобразование энергии солнечного излучения в тепловую энергию нагреваемой жидкости. Для уменьшения теплотерь конвекцией и излучением, а также для создания парникового эффекта корпус сверху покрывается одно- или многослойным светопрозрачным покрытием из стекла или синтетической пленки. Кроме этого, для уплотнения остающихся щелей между деталями корпуса используются мастика, шпаклевка, поролон, резина и др.

Корпус в целом и его элементы должны выдерживать низкие температуры зимой и высокие температуры, летом, достигающие иногда до 200 °C внутри СВК в отсутствии теплоносителя, при этом все остальные элементы СВК, находится внутри него.

В зависимости от климатических условий эксплуатации определяются выбор материала корпуса, а также толщина изоляции днища и боковых стенок СВК. Для условий Средней Азии оптимальной толщиной слоя теплоизоляции (минераловата, стекловата, пенопласт, войлок, солома, опилки и т.д.) считается 40-50-мм [7].

В плоских СВК наличие описанного выше корпуса считается обязательным и сомнению не подвергается.

Кратко рассмотрим основные типы плоских СВК.

Известен СВК, состоящий из теплоизолированного (деревянного или металлического) корпуса, внутри которого расположен медный листовой теплоприемник, с приваренными к нему трубами, по которым протекает нагреваемая вода [8]. В качестве теплоизоляции использовано войлочное покрытие. Корпус сверху покрыт двойным листовым стеклом. В данном СВК корпус занимает значительную часть всего СВК.

Также разработан СВК, состоящий из теплоизолированного корпуса, покрытого сверху листовым стеклом, а теплоприемником служит песок, уложенный в донной части корпуса [2]. В песке, вблизи его поверхности расположены металлические трубы, через которые протекает нагреваемая вода. В данном СВК, солнечные лучи, поступающие через остекление, поглощаются песком (для увеличения поглощательной способности на поверхность песка наносится распылителем черная краска) и тепловая энергия от верхних слоев песка через его толщину передается воде, протекающей через трубы.

Изготавливаемый из конструкционных материалов (металл, дерево, пластмасса) корпус составляет определенную часть всего СВК как по габаритам, так и по стоимости. В случае изготовления корпуса из дерева, он должен иметь достаточную толщину, чтобы выдержать вес достаточно тяжелого песка. Стремление к снижению стоимости солнечных коллекторов привело к тому, что различные их элементы, в том числе и корпуса заменяются пластиком, композитными или другими более дешевыми материалами [1-7].

Одним из первых был разработан и использован солнечный водонагревательный коллектор с теплоприемником типа "труба в листе" [1-6]. Теплоприемник такого СВК состоит из нижнего и верхнего гидравлических патрубков для входа и выхода потребляемой воды, из теплоприемников- труб диаметром ~ 25 мм, лучше поглощающих металлических пластин толщиной до 1 мм (иногда с селективным покрытием), к которым припаяны или сварены трубы диаметром 15 мм, и теплоизоляционного слоя. Весь такой сложный абсорбер находится внутри металлического корпуса (ящика), верхняя часть которого закрыта одно - или двухслойным листовым стеклом. Большинство теплоприемников такого типа изготавливаются из медных труб и медных пластин, это обеспечивает им высокую теплопроводность. Трубы припаиваются к плоскому или рифленому металлическому листу параллельно или в виде змеевика (солнечные коллекторы, разработанные в Массачусетском технологическом институте и солнечные коллекторы фирмы "Сануорк корпорэйшн") [1,2]. К.П.Д. СВК с теплоприемниками такого типа доходит до 0,6.

Эффективность работы СВК с теплоприемниками типа "труба в листе" в значительной степени зависит от качества контакта между трубами и листом, в который они уложены, особенно, когда в силу экономических соображений

медные трубы и пластины заменяются другими материалами. В отдельных случаях в качестве лучепоглощающей панели в СВК приспособабливают и стандартные серийно выпускаемые плоские стальные отопительные панели [1,2,4]. К.П.Д. таких СВК составляет от 0,50 до 0,6. Стоимость СВК данного типа примерно такая же, как и у предыдущего типа и составляет \$ 70 - 100 за 1 м<sup>2</sup>.

В теплоприемнике типа «лист-лист», где теплоноситель движется между двумя плоскими поверхностями, одна из которых абсорбирует солнечную энергию, создаются наиболее благоприятные условия для приема тепла с приемной поверхности (т.е. верхней пластины). Данный тип теплоприемников состоит из лучепоглощающей (верхней) и нижней пластины (металлических листов). Во время штамповки на поверхности листов образуются канавки. При сварке этих листов наложением друг на друга образуются коллекторные и проточные каналы между пластинами, через которые протекает нагреваемая вода. Такой теплоприемник в данном типе СВК также находится внутри теплоизолированного металлического или деревянного корпуса. Стоимость СВК данного типа несколько выше, чем у предыдущих и составляет \$ 95 - 110 за 1 м<sup>2</sup>.

Другим, также распространенным типом СВК является СВК типа «труба», где роль теплоприемника играют параллельно уложенные медные или стальные трубы [2,4]. Они уложены плотно друг к другу и присоединяются при входе и выходе в гидравлические коллекторы. Такой тип СВК также имеет теплоизолированный корпус из листового металла. Стоимость СВК типа «труба» несколько ниже, чем у предыдущих и составляет \$ 65 - 75 за 1,0 м<sup>2</sup>, что обусловлено несколько упрощенной его конструкцией.

Наряду с рассмотренными видами теплоприемников, из-за простоты конструкции также значительное распространение получили плоские солнечные емкостные коллекторы типа «подушка». Отличаются они от теплоприемников типа «лист» тем, что расстояние между металлическими верхними и нижними пластинами достигает до 120 мм и состоят из одного, не разделенного на части объема. Они одновременно выполняют функции, как теплоприемника, так и бака-аккумулятора для горячей воды [4].

Для создания парникового эффекта и повышения эффективности теплоприемник-аккумулятор такого СВК помещается в корпус, стенки которого сделаны из стекла, удерживаемого уголковым металлическим каркасом.

Известны также СВК типа «подушка», емкость для воды которых сделана из резины. На практике известны также СВК, изготовленные из алюминиевых сплавов НПФ, фирм «Новые технологии» (г. Одесса) и «Спецгелиомонтаж» (г. Симферополь) с приемной площадью от 1,1 ÷ 1,6 м<sup>2</sup>. Стоимость этих СВК также высокая и составляет от \$ 110 до \$ 120.

При изготовлении корпусов этих СВК из металла требуется сложная технология - сварка, заклепка, штамповка, точечная сварка, а в случае изготовления из дерева – столярные работы, в случае изготовления из бетона – также плотницкие и бетонные работы, что, в конечном счете, сказывается на их стоимости и сроках окупаемости.

В работе [4] приведен СВК, корпус, которого для увеличения прочности выполнен из шлакобетона армированием стальной арматурой. Однако, такие корпуса СВК громоздки и отличаются большим весом.

В ряде стран проводились работы по разработке и выпуску плоских коллекторов с элементами концентрации солнечной энергии. Например, известен модифицированный плоский коллектор, разработанный Дж. Фалбелом, концентрирующий солнечную энергию при помощи так называемой, отражающей пирамидальной оптики [1].

С помощью регулировки величины отражения через полость СВК на поверхности теплоприемника можно достигнуть концентрации, в 2-4 раза превышающей обычную плотность солнечной радиации [10]. В этих СВК используется не только прямая, но и диффузная радиация. СВК такого типа состоят из ряда параллельных трапециидальных или V-образных желобков, теплоотводящий канал которых располагается в глубине полости.

Определенный интерес представляют плоские СВК с линзами Френеля [1-4]. Степень концентрации линзы пропорциональна отношению ее диаметра к фокусному расстоянию. Наиболее высокие показатели СВК с линзами Френеля обеспечиваются при организации системы слежения за солнцем, что резко удорожает стоимость СВК и СВУ в целом. Из-за сложной технологии их изготовления, необходимости дополнительного оборудования для слежения за солнцем и дороговизны СВК с элементами концентрации солнечной энергии, последние два типа СВК не нашли широкого распространения на практике.

Одним из способов повышения эффективности СВК в целом является использование селективных лучепоглощающих покрытий непосредственно на поглощающих поверхностях. Селективные покрытия несколько снижают коэффициент лучепоглощающей поверхности теплоприемника, но имеют низкую степень черноты по отношению к собственному длинноволновому излучению [10].

Эффективность СВК можно также повысить применением селективного светопрозрачного покрытия, наносимого на стеклянное покрытие [6,10]. Светопрозрачная изоляция, покрытая тонким слоем определенного материала, например, двуокиси олова, несколько хуже пропускает солнечное излучение и почти полностью отражает длинноволновое излучение поверхности приемника.

В табл. 1.2 приведены удельные (на  $1\text{ м}^2$  поверхности СВК) стоимости корпусов СВК, изготовленных из различных материалов (без учета стоимости

работ на их изготовление). Здесь не учтены стоимости принятых одинаковыми для всех СВК теплоприемников-абсорберов и теплоизоляции.

Несмотря на многообразие теплоприемников СВК с плоской поверхностью, их объединяет один признак – наличие несущего и одновременно теплоизолирующего корпуса, внутри которого и располагается теплоприемник. Размеры корпуса определяются размерами теплоприемника, толщиной теплоизолирующего материала и высотой воздушного зазора между теплоприемником и верхним остеклением, определяемой наименьшим значением коэффициента конвективного теплообмена между поверхностью теплоприемника и стекла в ограниченном пространстве (как правило, 40-50 мм). Толщина стенок корпуса должна обеспечить необходимую несущую способность СВК со всеми элементами, располагаемыми внутри него – абсорбера, приваренных к нему патрубков для входа и выхода воды, теплоизоляции, прозрачного покрытия (стекла) с необходимым количеством слоев и т.д.

Таблица 1.1.

Стоимости корпусов СВК, изготовленных из различных материалов

Материал корпуса СВК	Удельн. расход материала кг/м <sup>2</sup> , м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	Удельн. стоимость, S <sub>корп</sub> доллар США	Удельн. стоимость СВК, S <sub>свк</sub> долл. США	S <sub>корп</sub> / S <sub>свк</sub> %
Металл листов.	8,1 кг/м <sup>2</sup>	9,7	38	25,7
Древесина	0,0217 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	8,4	36,3	23,0
Пластмасса	4,2 кг/м <sup>2</sup>	6,4	34,4	18,7
Шлакобетон	0,032 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	3,2	31,2	10,8

Как видно из таблицы, в зависимости от материала, стоимости корпусов без учета стоимости теплоизоляции и работ на их изготовление составляет от 10,8 до 25,7% стоимости всего СВК.

Необходимо отметить, что многолетняя практика эксплуатации СВУ в различных климатических условиях показала, что наиболее уязвимой частью СВУ является именно корпус СВК. Если он изготовлен из черного металла, то подвергается коррозии снаружи. Периодически каркас покрывается свежей краской. Наиболее вредна коррозия корпуса изнутри, происходящая под воздействием проникающей во внутрь по негерметичным частям уплотнения между корпусом и стеклом осадков, которые накапливаются и долго остаются там, пока не испаряются и не выходят наружу через те же негерметичности. Как показывает практика, по истечении одного сезона эксплуатации начинается интенсивная коррозия металлического корпуса СВК с нижней его части, где и накапливаются осадки.

Основным материалом изготовления корпусов СВК остается черный листовой металл. Алюминиевые корпуса, используемые в Европе, США, Японии долговечны, но приводят к сильному удорожанию стоимости СВУ. Деревянные же корпуса под воздействием атмосферных факторов, и в первую очередь осадков,

искривляются, и это приводит к деформации стекла, которое часто из-за этого разламывается. Пластмассовые корпуса СВК также недолговечны. Они в результате термического и фотохимического старения также теряют форму, ухудшается внешний вид. На практике они широкого применения не нашли.

Все описанные выше СВК при сборке СВУ устанавливаются и монтируются на специальном несущем и, как правило, металлическом (реже-деревянном) пространственном каркасе, изготавливаемом из профильной стали (уголки, швеллер). Эти каркасы, с одной стороны, служат для установки СВК под определенным углом к горизонту, на некоторой высоте, выше уровня снегового покрова в зимнее время (хотя большинство СВУ в зимнее время не эксплуатируются). Бак-аккумулятор СВУ также устанавливается на металлической подставке, на такой высоте от верхнего уровня СВК, которая обеспечивает необходимый гидравлический затвор в системе, предотвращающей обратную циркуляцию воды в ночное время.

Предпочтение отдается металлическим каркасам из-за его долговечности и стойкости форм при воздействии атмосферных факторов.

Деревянные каркасы используются также не так уж редко.

При монтаже СВК на крыше зданий, СВК монтируются на несущих стропилах, а бак-аккумулятор – на специальных подставках.

В табл. 1.2. приведены удельные (на 1м<sup>2</sup> поверхности СВК) стоимости материалов для изготовления СВУ площадью 4 м<sup>2</sup>, смонтированных на основе СВК типа «лист-лист» и баком-аккумулятором на 200 литров с двумя видами несущего каркаса - металлический и деревянный (без учета стоимости работ на их изготовление).

Таблица 1.2.

Стоимости несущих каркасов солнечных водонагревательных установок

Мат-л несущ. каркаса	Удельн. расход материала каркаса кг/м <sup>2</sup>	Удельн.стоим. материала каркаса \$ /кг	Стоим. каркаса, (\$)	Стоимость СВУ, (\$)	Доля стим.каркаса от стоим. СВУ %
М	10,95	0,47	14,1	120,7	11,7
Д	0,075м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	141,2 (\$)/м <sup>3</sup>	10,6	117,2	9,0

Примечание: М – уголок металлический 32, Д – древесина (рейки сосновые сечением 50х50 мм).

Как видно из табл. 1.2. стоимости несущего каркаса составляют от 9% до 15,3% от общей стоимости СВУ. Эти данные можно распространить и на СВУ промышленного значения, имеющие большие площади СВК.

На основе сделанного обзора работ по СВК можно сказать, что особенностями подавляющего большинства всех разработанных СВК и СВУ являются:

- широкое использование при изготовлении корпусов металлических материалов и древесины;
- значительные габариты корпуса и собственного веса корпусов (до 60 кг/м<sup>2</sup>);
- относительно высокая стоимость СВК, доходящая до \$ 65-110 за 1 м<sup>2</sup>, в которую вносит вклад и стоимость корпуса.
- обязательное использование традиционного для всех СВУ пространственного, несущего каркаса, составляющего от 9 до 13,7 % ее стоимости;
- наличие определенных проблем при транспортировке СВУ в пересеченных местностях, из-за наличия корпусов СВК и несущего каркаса;
- наличие определенных затрат, связанных с ремонтом каркаса и особенно с корпусами СВК, которые достаточно быстро выходят из строя из-за коррозии.

## ***1.2. Гелиотехнические и теплотехнические устройства с использованием грунта***

Немало видов низкопотенциальных солнечных установок (НПСУ) не только устанавливаются непосредственно на грунте, но и в качестве своих конструктивных элементов используют непосредственно грунт, используя при этом его механические (несущие) и теплотехнические (теплоизоляционные, теплопоглощающие, теплоаккумулирующие и др.) свойства. К таким видам НПСУ можно отнести все виды теплиц, парников, некоторые виды солнечных опреснительных установок (СОУ), особые типы солнечных сушильных установок, располагаемых непосредственно на грунте, аккумуляторы тепловой энергии, располагаемые в грунте и др.

### ***1.2.1. Гелиотеплицы и парники***

Все теплицы относятся к устройствам защиты грунта от низких температур и выращивания сельхозкультур, рассады и декоративных растений в холодное время года [11,12,13].

Рассмотрим представляющие интерес для нас два типа теплиц – теплицы, расположенные на грунте и теплицы траншейного типа, где часть теплицы находится ниже верхнего уровня грунта (в траншее).

Обычные теплицы располагаются на поверхности грунта (т.е. на культурном слое земли) и закрываются стеклянным или полиэтиленовым пленочным покрытием, устанавливаемом на несущих металлических каркасах. Грунт, защищенный таким прозрачным ограждением, играет роль одной из тепловоспринимающих поверхностей. Он, как сами растения, так и

конструктивные элементы, поглощает падающее на него солнечное излучение. Нагреваясь, поверхностный слой грунта частично аккумулирует тепловую энергию (солнечную энергию), которую тут же отдает воздуху внутри теплицы.

Кроме этого, грунт в определенных типах теплиц играет роль штатного аккумулятора тепловой энергии. Так, в теплицах, описанных в работе [14], горячий воздух (т.е. избыток тепла) накапливающийся в теплице, с верхней ее части отбирается с помощью воздухопроводов и вентилятора и подается в асбоцементные трубы, уложенные на глубине 40-50 см. Тепловая энергия в течение дня накапливается в грунте теплицы, а в ночное время с помощью вентилятора выбрасывается в воздушное пространство теплицы. В результате воздух нагревается в теплице и в ночное время.

Другой вид теплиц – теплицы траншейного типа [15]. Выращиваемые культуры находятся в траншее-углублении в грунте. Стенки траншеи укрепляются бетонной стяжкой или выкладываются кирпичной кладкой. Поверхность траншеи также закрывается стеклянным или полиэтиленовым пленочным покрытием, устанавливаемым на несущих металлических каркасах.

В траншейных теплицах используются и теплоаккумулирующие и теплоизоляционные свойства грунта с боковых и торцевых частей теплицы. С незамерзающей нижней части теплицы идет сток тепла вовнутрь теплицы.

В работе [15] исследована конструкция гелиолимонария с двухслойным пленочным аккумулятором тепла. По результатам оптимизации геометрических параметров разработана конструкция гелиолимонария с полуцилиндрической поверхностью двухслойного пленочного ограждения, углубленным грунтом траншейного типа и подпочвенной теплоаккумулирующей системой. Установлено, что в случае теплицы траншейного типа теплопотери теплицы несколько ниже обычных теплиц благодаря боковым стенам траншеи (длина- 30 м, ширина -6 м, высота боковых стен – 0,8 м.).

В работе [16] представлена гелиоустановка сушилка-теплица рабочей площадью 100 м<sup>2</sup> с подпочвенным орошением и аккумулятором тепла с полуцилиндрическим пленочным покрытием. В данной установке грунт используется в летнее время в качестве донной части корпуса сушилки, а в зимнее время в теплице на грунте так же выращивают необходимые для народного хозяйства продукты.

В работе [17] приведены исследования по определению количества тепла солнечной энергии, которое необходимо аккумулировать для поддержания удовлетворительного температурно-влажностного режима в гелиолимонарии траншейного типа в ночное время. Рассмотрена задача оптимизации геометрических параметров пленочного гелиолимонария траншейного (углубленного) типа. Как показывают исследования, углубление гелиолимонария в

грунте дает уменьшение тепловых потерь и сокращение общей площади гелиолимонария.

В работе [18] исследуемая теплица представляла собой двухскатное сооружение, углубленное на 1,0 метр основанием (грунт), с двойным остеклением и специально выбранным углом наклона стекол. Рассмотрена задача о вхождении солнечной энергии в теплицу. Влияние теплового режима грунта на эксплуатационные характеристики теплицы не рассматривалось.

В работе [19], в теплице полиэтиленовая пленка использована в качестве прозрачной изоляции. Показано, что в условиях пустынных районов вследствие влияния солнечной радиации и абразивного действия песка полиэтиленовая пленка быстро теряет механическую прочность и прозрачность. В данной работе исследована возможность использования опытной гелио сушилки в качестве теплицы в зимнее время года. Влияние теплового режима грунта на эксплуатационные характеристики теплицы не рассматривалось.

В работе [20] установлено, что для гелиолимонария (теплицы) углубленного типа теплопотери на 4-18 % меньше, чем у обычного (неуглубленного) типа гелиолимонария.

В работе [21] рассматривается тепловой режим теплицы с широтной ориентацией, покрытой прозрачной и частично непрозрачной (черной) пленками. Установлено, что как при однослойном, так и при двухслойном пленочных покрытиях температура внутри теплицы выше, чем у покрытых одной только прозрачной пленкой теплицах. Это объясняется препятствием, которое оказывает черная пленка при выходе определенной части солнечного излучения в видимой области из теплицы.

Исследованы процессы аккумуляции тепла в теплице с подпочвенным галечным аккумулятором тепла [22]. Аккумулятор представляет собой асбестовую трубу диаметром 300 мм, уложенную под почвой. В трубе расположена галечная насадка – теплоаккумулирующий материал. В дневное время вентиляторы прогоняют разогретый воздух теплицы через трубы и заряжают тепловой аккумулятор. В ночное же время осуществляется прогон уже холодного воздуха через трубы и нагретый в галечнике теплый воздух поступает в объем теплицы.

Установлено, что оптимальная глубина расположения аккумулятора тепла – 0,5 м. колебания температурных волн вокруг труб аккумулятора при этом формируют оптимальный для растений тепловой режим. В галечном аккумуляторе тепла аккумулируется до 39 % солнечной энергии, поступающей в гелиотеплицы.

В работе [23] авторами исследованы температурные режимы гелио парников с аккумуляторами тепла и без них в условиях г.Карши. Установлено, что в ясный день, в отсутствие аккумуляции тепла или его механического сброса (через форточки) температура внутри парника повышается до 50-60°C (при оптимальном значении 25-27°C). В ночное время, при температуре воздуха – 5-6°C

температура внутри парника опускается до 0°C (минимальная температура, необходимая для развития растений - +3-4°C). Установлено, что колебание температуры воздуха внутри теплицы (температурная волна) проникала в грунт на глубину 25-26 см.

Для удаления избытка тепла в гелиопарнике и его использования в ночное время авторами построен подпочвенный аккумулятор тепла объемом 87,5 м<sup>3</sup> с насадкой из булыжников диаметром 10-15 см. (оптимальный диаметр- 3-4 см) [6], через которые продувается днем горячий воздух, а ночью – холодный. Таким образом, воздух внутри теплицы днем составляет 25-27°C, а ночью - + 9-10°C.

Авторы работы [24] исследовали температурный режим теплицы с двухслойным прозрачным покрытием (ПП), грунт которого подогревался дренажной водой с температурой 23°C, протекающей через два полиэтиленовых рукава с поперечным сечением 0,25x1,0 м и длиной в 10 м с галечной насадкой – аккумулятором тепла, которые были уложены в почве теплицы на глубине 0,35 м. Установлено, что таким образом в ночное время удается поддерживать температуру воздуха внутри теплицы на уровне 10-12°C.

Исследовано распределение температуры воздуха и почвы в пленочной теплице [25]. Так, если в дневное время разность температур наружного воздуха и воздуха в теплице велика (около 25 °C), то ночью эта величина составляет 0,5-3 °C. Если теплица не отапливается, то к утру температуры внутреннего и наружного воздуха практически сравниваются. Указано, что колебания температуры поверхности почвы передаются на глубину до 30-35 см. и изменение температуры в глубине отстает по фазе от колебания температуры на поверхности. При максимальной температуре воздуха в теплице 50-52°C (между 13 и 15 часами, когда плотность солнечной радиации максимальна) температура почвы на поверхности достигает 50°C, а на глубине 30-35 см составляет 20-22°C. Утром, до восхода солнца и ночью (между 24 часами и 6 часами утра) температура почвы снижается до 10 °C.

В теплицах с солнечным обогревом температура воздушной среды линейно зависит от температуры поверхности почвы и растительности.

В опытах авторов [25] температура почвы на глубине 30 см изменяется пропорционально температуре на поверхности почвы и всегда меньше на 3-4°C.

В работе [26] рассмотрена гелиотеплица траншейного типа, в которой микроклимат поддерживается с помощью тепловых насосов, использующих в качестве низкопотенциального источника тепло, запасенное грунтовым массивом. Отмечая достоинства грунта как аккумулятора тепла, отмечается и его недостаток – относительно низкая теплопроводность. При его использовании в качестве источника тепла или аккумулирующего материала необходимо задействовать большой объем грунта с большой влажностью.

В работе [27] рассмотрена гелиосушилка с подпочвенным аккумулятором тепла. Аккумулятор тепла представляет собой трубы, уложенные в почве и наполненные галечной насадкой. Он заряжается с помощью горячего воздуха, забираемого в дневное время из верхней части сушилки, выполненной в виде гелиотеплицы.

Особый вид теплиц - парники. В них отсутствует искусственный обогрев объема парника. Здесь, как правило, используется биологический источник теплоты – теплота сгнивающего навоза, укладываемого под верхний слой почвы.

В теплицах траншейного типа и также в парниках роль теплового потока, исходящего из объема грунта под прозрачным ограждением достаточно существенна. Например, в теплицах траншейного типа около 30% необходимого для обогрева теплицы тепла поступает от боковых и донной частей грунта.

### ***1.2.2. Солнечные грунтовые опреснительные установки***

Определенным типом солнечных опреснительных установок (СОУ) в своей конструкции используется грунт, включая его механические и теплотехнические свойства.

Известны СОУ, выполненные в круглой или прямоугольной яме, сделанной в грунте [20]. В углубление глубиной 15-20 см подстилается черная полиэтиленовая пленка, доходящая до верхнего уровня грунта, которая в свою очередь является емкостью. На такую пленку-емкость заливается опресняемая вода. Поверх ямы накрывается прозрачная пленка в натянутом состоянии. В середину этой пленки кладется небольшой грузик (камень), который создает наклонную (перевернутый конус) форму прозрачной пленки. Под нижнюю точку прозрачной пленки ставится емкость для сбора дистиллята, который стекает к этой части прозрачной пленки. Иногда в качестве формообразующего груза используют металлический стержень, который создает двухскатную, наклоненную к средней части прозрачной пленки форму ее поверхности. При этом вода стекает к линейной углубленной части пленки и далее в сборник дистиллята, выполненного в виде желобка.

Наклонные опреснители со смачиваемой поверхностью [28] обладают большей удельной производительностью по сравнению с горизонтальными опреснителями. Однако они имеют ряд недостатков. Во-первых, смачиваемый материал (черная ткань) со временем разрушается, во-вторых, трудно регулировать потоки соленой воды и обеспечивать равномерное смачивание фильтра, кроме того, велик расход рабочей жидкости и соответственно имеет место унос тепла вместе со стекаемой рабочей жидкостью. Результаты исследования показывают, что плоские наклонные опреснители со смачивающей

поверхностью нецелесообразны для больших потребителей и серийного применения в народном хозяйстве.

В работах [6,29] разработаны и испытаны два типа наклонно-ступенчатых СОУ – из железа и из бетона, т.е. из материалов, обладающих различными массами, теплоемкостями и тепловыми инерциями. Авторами установлено, что СОУ, изготовленные из металла, благодаря меньшей тепловой инерции быстрее нагреваются и выходят в рабочий режим, чем бетонные. В то же время, бетонные СОУ позже выходят из рабочего режима благодаря накопленному в материале корпуса (бетоне) теплу.

Новая конструкция плоского опреснителя наклонно-ступенчатого типа [29] содержит противень, заполненный соленой водой, и прозрачную изоляцию. Для увеличения зеркала испарения и уменьшения расхода воды противень разделен на ряд поперечных секций с помощью ступеней, установленных перпендикулярно к плоскости дна противня. Ступеньки с краев имеют канавки для переливания воды. В предлагаемой конструкции опреснителя тепловой режим высокий и тепловые потери излучением от поверхности воды меньше по сравнению с известными горизонтальными опреснителями. Также в предлагаемой конструкции опреснителя одним из основных параметров является высота и число ступеней, расстояния между поверхностями испарения и конденсации. В работе [29] авторы с целью уменьшения теплоинерционных свойств корпуса СОУ изготавливали три их типа из трех легких пеноматериалов. Изнутри они покрываются гидроизоляционным материалом. Эти СОУ быстро выходят в рабочий режим и так же быстро выходят из него. Их производительность выше, чем у массивных СОУ из бетона.

Для увеличения прозрачности, смачиваемости и надежности полиэтиленовых пленок, пленочные опреснительные установки имеют полуцилиндрическую и коническую формы [30], которые придают преимущества в эксплуатационном и энергетическом отношении по сравнению с другими конструкциями. Слой опресняемой воды находится в поддоне с зачерненным дном. Поддон находится на теплоизоляционном слое, уложенном на Земле. Для избегания стока тепла от поддона к земле, здесь роль грунта- почвы стараются исключить.

Представляют интерес [28-30] легкие СОУ из листового металла, покрытые неорганической и термоустойчивой эмалью, наносимой при высокой температуре из расплава. Эти СОУ также имеют высокую производительность, также быстро выходят в рабочий режим, но однако также быстро выходят из него после захода Солнца.

Результаты сравнения параметров различных материалов, используемых для изготовления СОУ – железобетон, пескобетон, асбоцемент, армоцемент, стекло приведены в [31]. Сравнены стоимостные характеристики и

производительности СОУ из этих материалов. Большое внимание уделено необходимости повышения теплоизоляции с наружной части дна СОУ, которая влияет на теплотери и на производительность СОУ. Так же в работе [31] разработана нестационарная математическая модель тепломассообмена в солнечном парниковом опреснителе: исследован КПД опреснителя в зависимости от ее основных параметров.

Как видно из вышеизложенного, в СОУ используются теплотехнические и несущие способности грунта.

### ***1.2.3. Грунтовые аккумуляторы тепловой энергии***

Одним из наиболее широко используемых на практике теплотехнических устройств, выполняемых с использованием грунта, является грунтовый или подпочвенный аккумулятор тепловой энергии.

Исследования аккумуляции солнечной энергии путем создания благоприятных условий для образования линзы пресных вод как ближайших к поверхности земли, так и более глубоко залегающих водоносных горизонтов проведены в работе [14]. Сущность аккумуляции заключается в следующем: теплоноситель подогревается в солнечном нагревателе и падает через скважину непосредственно в песчано-гравийный горизонт. Аккумуляция солнечной энергии происходит за счет передачи тепла от циркулирующего теплоносителя.

Авторами работы [28] исследована возможность использования тепловой энергии воды, находящейся на рисовых полях. Вода и верхний слой грунта являются аккумуляторами тепловой энергии. Установлено, что максимальная температура воды на поверхности почвы на рисовом поле составляет в весеннее время 20-21°C, а в летние месяцы - 35-38°C, а иногда – при большей интенсивности СР и 40°C. Авторы предлагают закачивать такую теплую воду в подземные резервуары для последующего ее извлечения и использования в более холодные периоды года. Толщина воды над грунтом составляет 15-20 см, что равносильно 40 тыс. м<sup>3</sup> воды на 1 га. Существуют определенные трудности при закачивании воды на поверхность грунта и не учитываются теплофизические свойства грунта.

На основе исследования [32] соотношения времени зарядки и разрядки галечного аккумулятора тепла, сооружаемого под теплицей, установлено, что время зарядки зависит от температуры теплоносителя и при существующих температурах составляет 10-22 часа, кроме того оно зависит от размера насадки, расхода, скорости и температуры воздуха.

Другими авторами [33] определены температура воздуха и почвы внутри пленочной теплицы в зимний период в условиях Туркменистана. Тепло, аккумулируемое почвой, Q определено по формуле

$$Q = c \cdot \rho_0 \cdot V \cdot \Delta t \quad (1)$$

где  $c$  – теплоемкость почвы, принятая равной 0,3 ккал/кг град,  $\rho_0$  - плотность почвы (1600 кг/м<sup>3</sup>),  $V$  – объем грунта, где аккумулируется энергия (30 м<sup>3</sup>),  $\Delta t$  - разница температуры до и после аккумуляции тепла (5°C).

Имеются сведения [34] о различных вариантах аккумуляторов тепловой энергии, используемых в теплицах. Обычно, в теплицах качестве аккумулятора тепла используется влажный грунт. Толщина его определяется с учетом инерционности процесса теплообмена и требуемого количества аккумулируемой тепловой энергии. На практике толщина аккумулирующего грунта составляет 0,30-0,40 м. На основании этого аккумулирующий грунт в расчетах в первом приближении рассматривается как полугораниченный массив. Количество аккумулированной в грунте теплоты пропорционально амплитуде колебания температуры внутри теплицы, коэффициенту термоаккумуляции и корню квадратному из длительности одного периода колебания температуры. Авторы приходят к выводу, что используемые аккумулирующие устройства в солнечных культивационных сооружениях, хотя и несколько способствуют сглаживанию температуры воздушной среды в сооружении, при существующих режимах работы не дают требуемого результата.

В случае использования глубоких слоев грунта [35] была построена установка с тепловым насосом, при помощи которого здание объемом в 185 м<sup>3</sup> охлаждалось в летнее время и отапливалось зимой. Роль теплового аккумулятора выполняли поверхностные слои грунта на глубине 1,8 м. Они же в летний период являлись конденсатором холодильной машины, а зимой – испарителем теплового насоса. Особенностью данной установки является возможность использования одного и того же оборудования для отопления помещений зимой и охлаждения летом.

В работе [36] разработана и испытана система солнечного обогрева теплиц с аккумулированием тепла нижними слоями почвы (на глубине 0,40-0,50 м) схема – классическая.

В Средней Азии в 1931 году впервые была построена солнечная теплица с грунтовым аккумулятором тепла [37]. В теплице благодаря аккумулятору тепла температура внутри теплицы не опускалась ниже +5°C при температуре наружного воздуха -12°C.

В селе Алиа-Ата построена теплица траншейного типа, с заглублением [38]. Здесь благодаря стоку тепла с боковых стен траншеи и теплоотдачи от дна температура внутри теплицы не опускалась ниже +5°C при температуре наружного воздуха -15°C.

Существуют также пленочные теплицы [39] с двухслойным пленочным покрытием и подпочвенным аккумулятором тепла. Аккумуляторами тепла являются керамические и чугунные трубы, уложенные в грунте на глубине 40-50 мм и заполненные галечником размером 8-10 см в поперечнике. Трубы уложены на расстоянии 1-1,2 м друг от друга. Аккумулятор, осуществляя замкнутую циркуляцию воздуха в теплице, позволяет аккумулировать тепло солнечной радиации в почве, снижая одновременно относительную влажность воздуха в теплице.

Теплоемкость почвы зависит не столько от его минерального состава, сколько от соотношения воздуха и воды, находящихся в порах почвы. Теплоемкости воздуха и воды различаются более чем в  $3 \cdot 10^3$  раз.

В работе [40] автор исходит из стохастичности-? и одновременно суточных и годовых закономерностей изменения поступления СР. При этом автор подчеркивает известную истину- аккумулятор тепла должен иметь емкость и долгосрочность, обеспечивающую потребность потребителя. Поток тепла, проникающий в почву тем больше, чем больше ее теплопроводность, теплоемкость или температуропроводность. При этом имеем и большие амплитуды колебаний температуры на поверхности почвы. Расчеты теплового баланса и выбор рационального резервного обогрева проведены в работе [41] и обоснована важность теплотерь гелиотеплицы через грунтовой аккумулятор тепла.

### ***1.3. Методы расчета солнечного потока, входящего в гелиоустановку***

В зависимости от рельефа местности, теплоприемники низко потенциальных солнечных установок (НПСУ) могут иметь различную ориентацию относительно горизонтальной поверхности (даже неоптимальную для данной широты местности) и их производительность будет напрямую связана с количеством солнечной энергии, падающей на теплоприемники (СВК) при такой ориентации. Также НПСУ зависят от параметров: пропускание, затенение переплетом, наклон лучей и отражение, облачность атмосферы.

Солнечная радиация, входящая в теплицу определяется как сумма входящей прямой и рассеянной СР [18]. Входящая прямая СР определяется в зависимости от ее интенсивности, угла падения на поверхность ПО, коэффициента вхождения и также коэффициента, учитывающего облачность атмосферы. Этот коэффициент принимается равным 0,9 при ясной погоде, при незначительной облачности от 0 до 2 и при облачной погоде – от 8 до 10. Однако, метод трудоемок, в расчетах необходимо учитывать много факторов.

Вопросам облученности теплоприемников гелиоустановок уделено достаточно внимания. Рассмотрены входящие СР в теплоприемники, имеющие как плоские, так и другие (цилиндрические, сферические) формы [42,48,49]. В работе [42] отдельно рассматриваются коэффициенты вхождения прямой и рассеянной солнечной радиации в пленочный (с однослойным и двухслойным пленочными покрытиями) гелиопарник полуцилиндрического типа с двумя ориентациями - широтной и меридианной. При этом коэффициенты вхождения рассматриваются как сложные функции, зависящие от угла падения прямой СР, коэффициента поглощения СР материалом пленки, высоты Солнца, от широты местности, часового угла, склонения Солнца. Не рассмотрены вопросы зависимости прямой и рассеянной радиации от потока солнечного излучения прошедшего через прозрачные ограждения. Для рассеянной СР коэффициент пропускания считается зависимым только от коэффициента поглощения материала пленки.

На основе исследования коэффициента светопропускания прозрачных материалов – полиэтиленовой пленки, органического стекла, оконного стекла, стеклопластика (брались однослойные и двухслойные варианты) в зависимости от угла падения прямой СР установлено [43], что пропускание СР всех материалов начинает существенно уменьшаться при углах падения СР менее  $50^{\circ}$ . Авторы объясняют это увеличением пути прохождения световых лучей в материале и ростом отражательной способности материалов. Авторами исследовано ослабление светопропускания покрытий в зависимости от загрязнения пылью.

В работе [44] исследовано изменение светопропускания различных полимерных пленок в ближней видимой и ближней ИК-областях спектра. В зависимости от времени старения и степени загрязнения светопропускание пленок ухудшается.

Авторами работы [45] рассмотрено изменение коэффициента вхождения солнечной радиации в зависимости от расположения и угла наклона гелиоустановки к горизонту. Коэффициент вхождения прямой СР определяется как произведение коэффициентов пропускания стекла и слоя пыли. Рассчитаны коэффициенты вхождения прямой СР в различные месяцы года (т.е. в зависимости от угла падения прямой СР) на вертикальный теплоприемник. Облачность и соотношение прямой и рассеянной СР не рассматриваются.

Другими авторами [46] приведены результаты расчетных исследований по определению тепловой мощности внутреннего источника в светопрозрачных покрытиях плоских солнечных коллекторов, формируемой за счет частичного поглощения и преобразования в тепло проходящего через него суммарного (прямого и диффузного) солнечного излучения, а также отраженного от луче поглощающей поверхности теплообменной панели коллектора диффузного солнечного излучения.

Кроме того [47] предложено расчетное выражение для определения эффективной отражательной способности системы «светопрозрачное покрытие – лучепоглощающая теплообменная панель» плоских солнечных коллекторов с учетом отражательной способности луче поглощающей поверхности теплообменной панели. Приведен практический пример расчета по определению эффективной отражательной способности рассматриваемой системы с однослойным светопрозрачным покрытием в зависимости от интегрального коэффициента отражения суммарного солнечного излучения луче поглощающей поверхности теплообменной панели.

В работе [48] предложен метод расчета коэффициента пропускания светопрозрачной изоляции (СВПИ) плоских гелиоустановок диффузной солнечной радиации через эквивалентное значение угла падения лучей прямой солнечной радиации. Вследствие того, что лучи диффузной солнечной радиации на поверхность СВПИ плоских приемников падают со всех точек небосвода, длина их пути в толще СВПИ всегда больше, чем длина пути луча прямой СР, падающего на рассматриваемую поверхность нормально. Следовательно, поглощательная и отражательная способности рассматриваемой СВПИ для диффузной радиации несколько выше, а пропускательная – ниже, чем для прямой солнечной радиации. В связи с таким обстоятельством, расчеты по определению коэффициентов пропускания СВПИ плоских гелиоустановок для прямой и диффузной СР рекомендуется вести отдельно.

Следует отметить, что в литературе нет метода расчета облученности теплоприемников в различных условиях облачности атмосферы.

## ГЛАВА 2. РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Анализ литературы показывает, что работы по разработке гелиоустановок с использованием грунта проводились расчетно и экспериментально (в основном). Расчетные исследования на основе стационарных моделей были проведены в работах [14], где исследовалось изменение температур в аккумуляторах тепла, а также температуры по толщине открытого грунта [14,24]. Для определения тепловой эффективности грунтового солнечного водонагревателя (ГСВК), так же, как и "обычных" конструкций солнечных коллекторов необходимы не только стационарные, но и нестационарные модели. Рассмотрение задачи разработки нестационарной модели ГСВК, исследование на основе такой модели влияния на теплотехнические характеристики ГСВК её конструктивных параметров и характеристик грунта - цель настоящей главы.

Известны различные нестационарные одномерные модели, которые могут быть использованы для модели ГСВК. Так в [50] описана нестационарная численная модель нагрева пластины. Однако в этой модели не учитывается излучение с поверхности пластины. Модель с учетом излучения была предложена в [51]. Также известная нестационарная модель нагрева (охлаждения) одномерной пластины, или групп пластин, использованная в гелиотехнике, в которой параметром является средняя температура пластины [52]. Т.е. в этой модели не учитывается перепад температуры в пластине (пластинах). Анализ, проведенный в [53] показал, что только для теплоприемника можно не учитывать перепад температур по толщине, для остальных элементов его необходимо учитывать (числа  $Bi$  находятся в пределах  $0.1 < Bi < 100$ ). Наиболее близкой к ГСВК является трехслойная нестационарная модель солнечного воздухонагревательного коллектора, описанная в [54].

### *2.1. Разработка тепловой модели солнечного грунтового водонагревателя*

Рассмотрим основные конструктивные параметры ГСВК и её основные элементы. Как и в целом для солнечных коллекторов будем рассматривать одномерную схему ГСВК площадью  $S$  (см. рис.2.1).

На основе этой модели нами была разработана нестационарная тепловая модель ГСВК, учитывающая особенности её работы и её основные элементы (наличие бесконечно толстого слоя грунта, возможное наличие теплоизоляции между приемником и грунтом). Причем как показал анализ можно выделить два типа тепловых моделей ГСВК, см рис.2.2. Первый тип наличие теплоизоляции



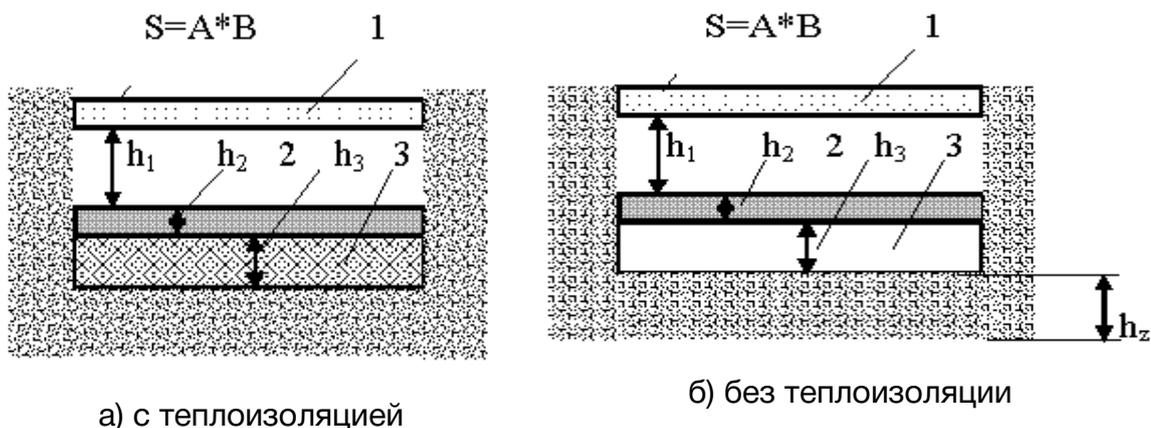


Рисунок 2.2. Схемы к тепловым моделям ГСВК, между приемником и грунтом изоляцией и теплоизоляцией и грунтом.

Отметим, что в данной модели, как указано в [55] проводится одновременный расчет температуры по толщине всех элементов 1-3. Причем для прозрачного ограждения учитывается и объемное лучепоглощение, а теплообмен между элементами происходит двояким образом – излучением непосредственно между элементами и конвекцией через воздушный промежуток между ними, причем используется модель переноса не как через прослойку, а по схеме элемент – воздух – элемент, т.е. учитывается изменение температуры в прослойке. Основой такой трехслойной модели является одномерное уравнение теплопроводности, методика численного решения которого достаточно подробно освещена в литературе [50,51]. Кратко напомним эти уравнения, которые включают уравнение теплопроводности

$$(1/a)(\partial T / \partial \tau) = \partial^2 T / \partial x^2 + (q_1 + q_2) / \lambda \quad (2.1)$$

где  $a$  - коэффициент температуропроводности материала,  $q_1, q_2$  - внутренние объемные источники тепла (например, объемное поглощение солнечного излучения)  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности материала.

Условия однозначности задачи: начальные условия

$$\text{при } \tau = 0, \quad T(0, x) = T_0 \quad (2.2)$$

$T_0$  - начальная температура тела.

граничные условия

при  $x = 0$

$$\alpha_1 \cdot E_{c1} + \lambda (\partial T / \partial x) = \alpha_{k1} (T_{x=0} - T_{v1}) + \varepsilon_1 \cdot \sigma (T_{x=0}^4 - T_{по}^4) \quad (2.3)$$

где  $T_{x=0}$  – температура поверхности элемента при  $x = 0$ .

и, при  $x = H$

$$-\lambda (\partial T / \partial x) = \alpha_{k2} (T_{x=H} - T_{v2}) + \varepsilon_2 \cdot \sigma (T_{x=H}^4 - T_{по}^4) \quad (2.4)$$

где  $E_{с1}$  – плотность солнечного излучения на выходе из ПО;  $\alpha_1, \varepsilon_2$  – коэффициенты поглощения элемента;  $\alpha_{k1}, \alpha_{k2}$  – коэффициенты конвективной теплоотдачи на лицевой и тыльной поверхностях элемента;  $T_{v1}, T_{v2}$  – температура окружающего воздуха на лицевой и тыльной стороне элемента;  $\sigma$  – постоянная С-Б ( $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> К<sup>4</sup>);  $T_{по}$  – температура ПО;  $T_z$  – температура поверхности "Земли".

Как было указано выше, в общем случае имеем сопряженную задачу, т.е. неизвестной является также температура воздуха между элементами  $T_v$ . Один из известных способов её исключения из системы это предположение о том, что передача тепла между З и ПО происходит не конвекцией, а теплопроводностью. При этом, как известно, вводится понятие эффективной теплопроводности воздушного слоя. Второй способ, определение  $T_v$  из уравнения баланса вида

$$T_v = Q / (m_v \cdot c_v) + t_0 \quad (2.5)$$

где  $Q$  – количество тепла, переданное ПО и З воздуху за время  $\tau$ ;  $m_v, c_v$  – масса и теплоемкость воздуха. Для одномерного случая (2.5) принимает вид

$$T_v = \int (q_{кпо} + q_{кэ}) dt / (h_v \cdot c_v \cdot \rho_v) + t_0 \quad (2.6)$$

Эта система уравнений, включающая теплообмен излучением и сопряженные граничные условия не поддается аналитическому решению без упрощающих допущений. Например, при аналитическом решении предполагается, что излучение учитывается в коэффициенте конвекции и при условии постоянства внешних условий [24,50,52]. Как было указано выше во всех элементах кроме приемника необходимо учитывать зависимость распределения температур в элементе от времени. В связи с указанным задача решается численно, методом конечных разностей по неявной схеме. Мы рассматриваем схему, в которой приближенно учитываются потоки излучением [56].

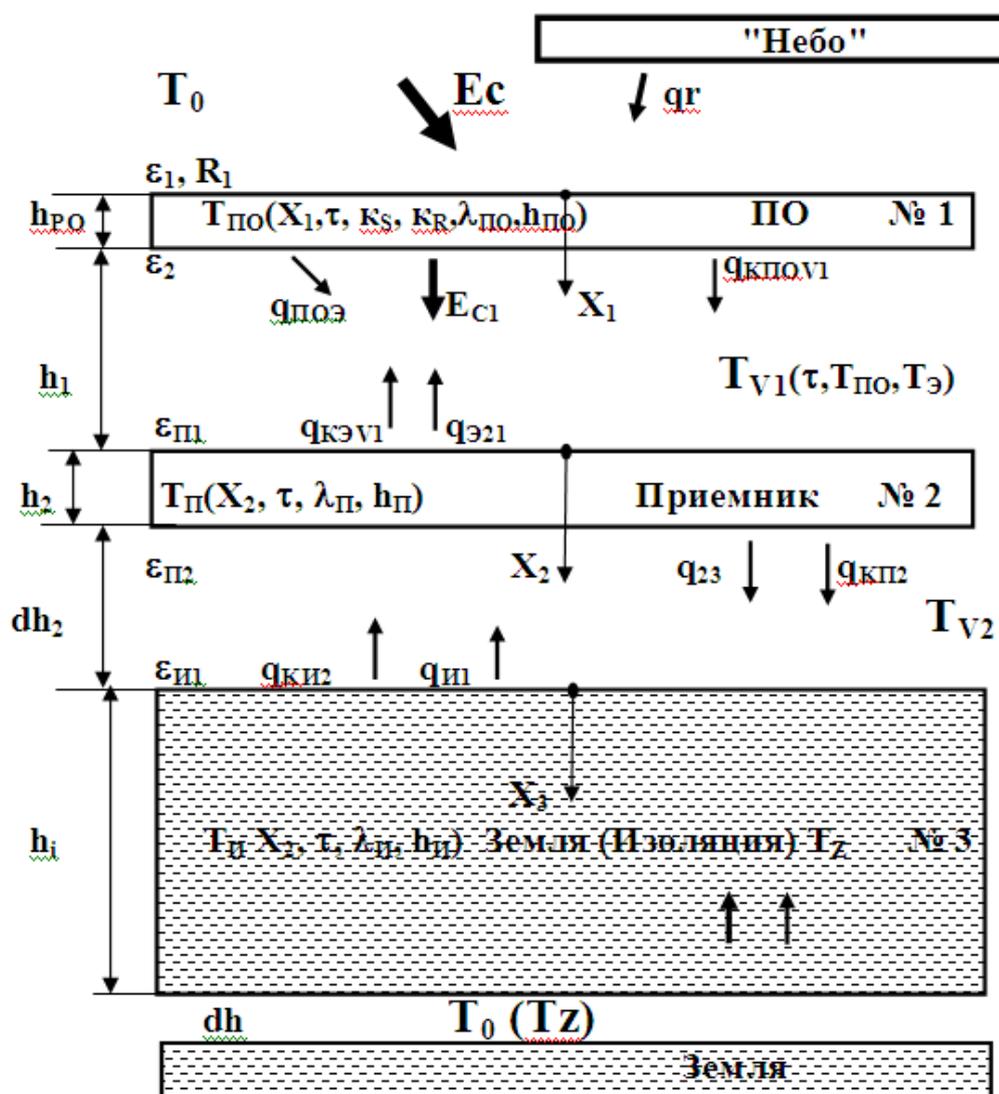


Рисунок 2.3. Тепловая модель грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов.

Отметим, что в качестве выходных параметров этой модели целесообразно принять температуры элементов 1-3 и в первую очередь приемника динамика нарастания, равновесные значения которых, в общем, и характеризуют теплотехническую эффективность коллектора (теплоотвод в данной модели отсутствует). На основе этой модели на первом этапе были рассмотрены характеристики ГСВК первого типа, которая максимально приближена к обычным конструкциям коллекторов.

На рис.2.4. приведены характерные динамики нагрева приемника в зависимости от толщины теплоизоляции дна.

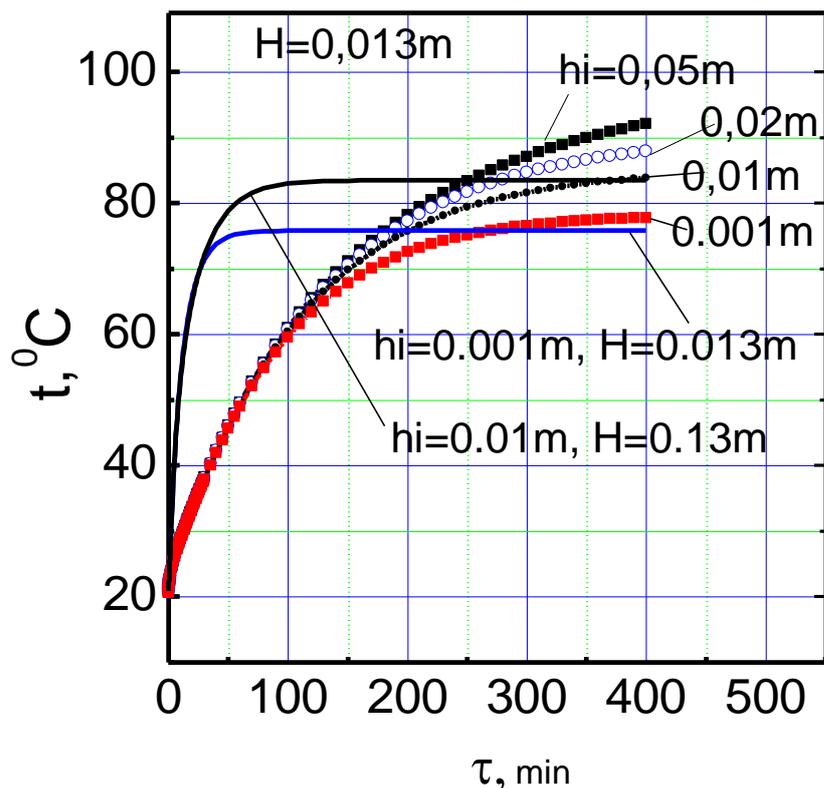


Рисунок 2.4. Влияние толщины теплоизоляции  $h_i$  дна на динамику температур нагрева лучепоглощающей поверхности приемника солнечного водонагревательного коллектора "обычной" конструкции при различных толщинах приемника  $H$ .

Как видно, толщина теплоизоляции влияет практически при температурах близких к равновесным, для "обычных" температур нагрева до  $60^\circ\text{C}$  различие в динамиках нагрева незначительно. Поэтому стационарные модели СК в общем показывают предельные случаи, которые могут наступать, как видно через достаточно большие промежутки времени, более 2 часов. Т.е. при расчете конструкций СК, выборе толщины теплоизоляции необходимо учитывать реальную динамику нагрева. Например, из стационарной модели "горячего ящика" [53] было получено, что толщина теплоизоляции должна быть порядка 7-8 см, а из нестационарной модели следует, что толщина теплоизоляции порядка 1-3 см уже достаточна при получении температур нагрева до  $60^\circ\text{C}$ . Разработанная модель и её программная реализация, а также полученные результаты для ГСВК первого типа могут быть использованы и при проектировании "обычных" солнечных водонагревателей.

## ***2.2. Исследование теплотехнических характеристик грунтовых солнечных водонагревателей***

Основными параметрами солнечных установок являются теплотехнические характеристики, которые и определяют эффективность установок. Для их определения нами предлагается нестационарная единичная тепловая модель солнечного водонагревателя, позволяющая исследовать динамику температур нагрева основных элементов СВК (прозрачное ограждение, приемник, теплоизоляционное грунтовое дно).

В данном разделе работы приведены результаты расчетных исследований двух типов разработанных ГСВК. Нами исследованы температуры нагрева грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов первого типа, теплотехнические характеристики грунтовой теплоизоляции солнечного водонагревателя (Теплофизические и механические свойства грунтов Кыргызской Республики) и динамика нагрева грунта, также исследованы температуры нагрева ГСВК второго типа.

### ***2.2.1. Исследование температуры нагрева грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов первого типа***

При проведении расчетов рассматривались различные глубины расположения СВК первого типа в грунте и использовалось программное обеспечение, разработанное на основе общепринятых уравнений теплопроводности, конвективного и радиационного теплообмена [57]. Для разработки модели ГСВК второго типа (без возможной теплоизоляции между приемником и грунтом) необходимо определить понятие слоя грунта "бесконечной толщины" для этой модели, т.е. определить в модели конечную толщину слоя грунта, которую можно считать "бесконечной" толщины. Для этого необходимо исследовать динамику нагрева слоя грунта в зависимости от её теплофизических свойств и толщины. Рассмотрим эту задачу более детально.

### ***2.2.2. Теплотехнические характеристики грунтовой теплоизоляции солнечного водонагревателя (Теплофизические и механические свойства почвы Кыргызской Республики)***

Кыргызстан находится на стыке трех крупных почвенно-климатических фракций: Туранской, Центрально-Казахстанской и Центрально-Азиатской [3]. На территории Кыргызстана широко распространены горно-долинные сероземы типичные (обыкновенные). Они занимают предгорные равнины и низкие адыры (до

1000-1200 м н.у.м.) и развиваются в основном на лессовидных суглинках, реже - на плотных породах – сланцах и песчаниках под разнотравной пустынно-степной растительностью, нередко с кустами. Имеют слабо выраженный пластинчато – слоеватый верхний горизонт сероватого оттенка, к низу структура слабокомковатая, мощность гумусового горизонта 50-70 см.

Почвенный профиль слабо дифференцирован на горизонты (с большим содержанием карбонатов в виде жилок, псевдомицелия, белоглазки и мелких конкреций). Содержание гумуса 1,8 -2,5 %, иногда до 3 %.

Выше типичных сероземов (1200-1500 м н.у.м.) находятся горно-долинные темные сероземы. По механическому составу преобладают средние и тяжелые пылеватые суглинки на плотных породах, на некоторой глубине - щебневатые.

Выше сероземов распространены почвы горных склонов. К ним относятся, в частности, горные серо-коричневые почвы. Почвообразующими породами здесь служат преимущественно лессовидные суглинки. По механическому составу преобладают средние и тяжелые пылеватые суглинки на плотных породах, на некоторой глубине щебневатые. Гумуса в этих почвах -3-4%. Такие почвы в отдельных местах поднимаются до 2000 м н.у.м.

На высотах 1600-1800 м преобладают горные типичные коричневые, горные коричневые темные почвы. По механическому составу представляют собой пылеватые тяжелые и средние суглинки.

Горностепные почвы широко распространены в пределах 2100-2600 м, под разреженными арчовниками и довольно густыми мятликово-типчачковыми ассоциациями. Имеют хорошо выраженный дерновый горизонт. Почвообразующие породы представлены преимущественно щебнистым элюво-делювием известняков, а также нерасчлененной свитой плитчатых песчаников и сланцев. По механическому составу эти почвы – преимущественно средне - и тяжелосуглинные, крупнопылеватые.

В пределах субальпийского пояса встречаются горные лугово-степные, горно-луговые и горно-луговые степные альпийские почвы. По механическому свойству эти почвы очень разнообразны – от легко - до тяжелосуглинистых, часто каменистые. Встречаются места со значительным содержанием песка, хряща, щебня. Наблюдаются места со значительным увеличением илистых частиц.

Твердость почв (сопротивление к проникновению в нее под давлением какого-либо тела) зависит от их влажности. По мере увеличения влажности почвы, ее твердость сильно уменьшается. В сухом состоянии достигает 150-180 кг/см<sup>2</sup>. Удельное сопротивление почв (усилие, затрачиваемое на подрезание пласта) колеблется от 0,2 до 1,2 кг/см<sup>2</sup>.

В представляющих для нас интерес глубинах почвы (0-0,30 м) объемный вес составляет от 1,14 до 1,79 г/см<sup>3</sup> (напомним, что объемным весом называется вес

единицы объема абсолютно сухой почвы, взятом естественном сложении). В нижних слоях этот показатель несколько больше.

Удельный вес почвы составляет от 2,53 до 2,68 г/см<sup>3</sup> (удельным весом почвы называют отношение веса ее твердой фазы к весу воды в том же объеме при 4°C). Общая пористость составляет от 44,5 до 54,7 % (суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы почвы).

Теплофизические свойства почвы. К теплофизическим параметрам почвы относятся: объемная теплоемкость -  $C$ , коэффициент температуропроводности -  $k$ , коэффициент теплопроводности -  $\lambda$ ,  $\rho_0$  – плотность почвы, которые определяются как

$$k = \lambda / C = \lambda / (c \cdot \rho_0) \quad (2.7)$$

$C$  помощью этих величин можно описать все теплофизические процессы, имеющие место в почве [58].

Теплофизические характеристики почвы формируется под воздействием трех типов теплообмена: теплопроводностью, конвекцией, излучением и особого вида теплообмена - массообмена.

Теплопроводность почв. Теплопроводность в почве (дисперсной среде) зависит от ее структуры: системы взаимного расположения твердых частиц и пор, химико-минералогического состава твердой фазы, соотношения между объемом пара и общим объемом системы, т.е. от пористости, влажности и температуры почвы [59]. Химико-минералогический состав почвы в зависимости от его типа и географического расположения весьма разнообразен. В качестве компонентов в нее входят всевозможные минералы – кремний, полевой шпат, кварц, мрамор, гранит, сланцы, известняк и др. Особую группу составляют окислы металлов:  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  и др. кроме того, значительный процент состава почвы составляют соединения аморфного и кристаллического характера, относящиеся к классу диэлектриков: кальциты, мусковиты, слюда, апатит, железняк и т.д. [59]. Об их влиянии на теплопроводность достаточно сказать, что теплопроводность аморфного известняка в 20 раз меньше теплопроводности кристаллического известняка, а теплопроводность сланца в 6 раз меньше теплопроводности гранита.

Конвективный теплообмен. Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования ряда авторов показывают, что в относительно толстых слоях и при малых перепадах температуры конвективные теплотери практически не наблюдаются. Почвенные поры обычно имеют значительно меньшие размеры (0,1-0,2 мм). Следовательно, процент теплопередачи за счет конвекции лежит в пределах 0,15-0,3 % от общей теплопередачи. Только для

весьма крупных частиц и пор порядка 3 мм этот процент доходит до 5-5,5 % при максимально возможном (порядка 100°C) перепаде температур [60].

Теплопроводность излучением в почве также незначительна. При температуре почвы 60°C и более и при наблюдающихся максимальных размерах пор почвы в 6 мм теплопроводность излучением составляет 6-7 % от общей теплопроводности [60].

Влияние массообмена. Массообмен предполагает перемещение влаги в почве, как в форме пара, так и в капельножидком виде. В отличие от рассмотренных выше видов теплопереноса, массообмен имеет место и при относительно низких температурах. Установлено, что пока температура почвы не становится выше 50°C, вклад массообмена в общий процесс теплопередачи составляет не более 10 %. Здесь существенен вклад в переносе тепла пара, чем капельной воды, а в сухих почвах массообмен низок. Коэффициент теплопроводности, обусловленный эффектом переноса пара, изменяется в широких пределах. Особенно резко он растет с увеличением температуры.

Считается, что для натуральных почв, не очень распыленных, не аномально переувлажненных или перегретых, вполне можно пренебречь влиянием процессов массообмена на величину теплофизических характеристик.

Следовательно, все три перечисленные процесса: конвекция, излучение и массообмен являются несущественными при формировании теплофизических характеристик почвы.

Многочисленными опытами показано, что влажность представляет собой наиболее эффективный фактор, влияющий на изменение теплопроводности, теплоемкости и температуропроводности почвы. Это объясняется тем, что при увлажнении почв из их пор удаляется малотеплопроводный воздух, который заменяется при этом хорошо проводящей тепло влагой. При этом характер изменения каждой из величин 1,2,3 различен. Так, с ростом влажности теплоемкость растет по линейному закону.

Коэффициент температуропроводности изменяется по закону максимума, а  $\lambda$  – по закону насыщения. Таким образом, с ростом влажности быстрее растет  $\lambda$ , и слабее -  $C$ .

Подводя итоги в отношении влияния различных факторов на величины теплофизических характеристик почвы, можно сказать, что из всех рассмотренных наиболее существенными для почвы, при заданной структуре и химико-минералогической природе ее твердого состава являются четыре фактора, перечисленные ниже в порядке убывания значимости: 1-влажность, 2-плотность или пористость, 3-дисперсность, 4- температура (если речь идет о природном интервале температур, ее влиянием можно пренебречь).

Тепловой баланс на деятельной поверхности почвы. Относительно почвы правильно говорить о деятельной поверхности почвы, под которой понимается

динамическая и активная поверхность, на которой происходит трансформация поступающей на нее солнечной радиации. В этом процессе участвует весьма тонкий верхний слой почвы, в котором происходит поглощение и отражение (альбедо) солнечной радиации, последующее нагревание и ИК-излучение. На деятельной поверхности возникают теплообменные процессы с приземным воздухом и нижележащими слоями почвы. В результате этих процессов имеют место температурные колебания в довольно глубоком слое почвы при естественном периоде тепловой волны (сутки, год). Этот слой ограничен сверху деятельной поверхностью, а снизу – уровнем постоянных температур, то есть той границей, до которой уже не доходят тепловые волны.

В течение года меняется растительный покров почвы: его цвет, высота и др., которые влияют на все теплообменные процессы, на поверхности, следовательно, и в глубине почвы.

В общем случае на тепловой режим приповерхностного слоя и глубинных слоев оказывает влияние большое число факторов: плотность солнечной радиации (склонение солнца, географическая широта, угол наклона поверхности почвы к горизонту, прозрачность атмосферы, облачность), шероховатость поверхности, ее пористость, химико-минералогический состав, структурно-механический состав, влажность воздуха, температура воздуха, цвет поверхности, характер и высота растительного покрова, влажность приповерхностного слоя почвы (выпадение осадков), скорость ветра и др.

Температурный режим почвы. Под температурным режимом почвы понимается температурное поле, которое формируется в почве естественного сложения, структуры, плотности и влажности в процессе непрерывного распределения элементов теплового баланса на ее поверхности. В почве, в отличие от атмосферного воздуха, все тепловые параметры –  $\lambda$ ,  $k$  и  $C$  меняются с глубиной. Поскольку наиболее существенно влияющих на эти величины факторов четыре – плотность, влажность, дисперсность и температура. Наиболее часто встречающиеся на практике ситуации связаны с постепенно увеличивающейся по глубине влажностью. Следовательно, с глубиной наблюдается плавное увеличение теплофизических характеристик почвы – от минимальных значений в верхнем высохшем слое до более высоких значений на больших глубинах.

Механические свойства почвы. Твердость почв (сопротивление к проникновению в нее под давлением какого-либо тела) зависит от их влажности. По мере увеличения влажности почвы, ее твердость сильно уменьшается. В сухом состоянии достигает 150-180 кг/см<sup>2</sup>. Удельное сопротивление почв (усилие, затрачиваемое на подрезание пласта) колеблется от 0,2 до 1,2 кг/см<sup>2</sup>.

Таблица 2.1.

Теплотехнические свойства грунта

№ п/п	Материал грунта	W, %	T, °C	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/м град	C, кДж/кг град
1.	Глина	15-20	20	1,6-2,0	0,7-0,9	0,84
2.	Грунт подзолистый	0,3	25	1,31	0,28	0,84
3.	Грунт подзолистый	8,6	25	1,46	0,73	0,96
4.	Грунт подзолистый	16,6	25	1,84	1,42	1,15
5.	Суглинок	42	20	1,96	1,49	1,15

Как, видно из таблицы, грунты обладают достаточной прочностью.

***2.2.3. Исследование температуры нагрева грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов второго типа***

На основе выше приведенных параметров рассмотрим нестационарную задачу нагрева слоя грунта. Схема задачи приведена на рис.2.5. Как видно, между выбранной толщиной слоя грунта и "основным" грунтом оставлен воздушный промежуток. Дело в том, что на самом деле имеется один слой грунта «бесконечной» толщины, однако для разработанной выше тепловой модели ГСВК при численном решении необходимо задавать конечную толщину слоя грунта. Поэтому и была принята такая, с более сложными граничными условиями, схема задачи с двумя слоями грунта. Т.е. если конечный слой при этих условиях ведет себя как слой бесконечной толщины, то в модели ГСВК динамика нагрева слоя конечной толщины будет заведомо иметь ту же динамику, что и слой бесконечной толщины. Решение этой задачи нагрева пластины (однослойная модель) является, как видно, частным случаем трехслойной модели.

Таким образом, имеем две задачи, первая- это определение динамики изменения температуры грунта и вторая- определение такой толщины грунта, которую можно считать бесконечной толщиной. Конечно, желательно рассмотреть периоды времени более суток и учитывать периодичность облучения грунта Солнцем.

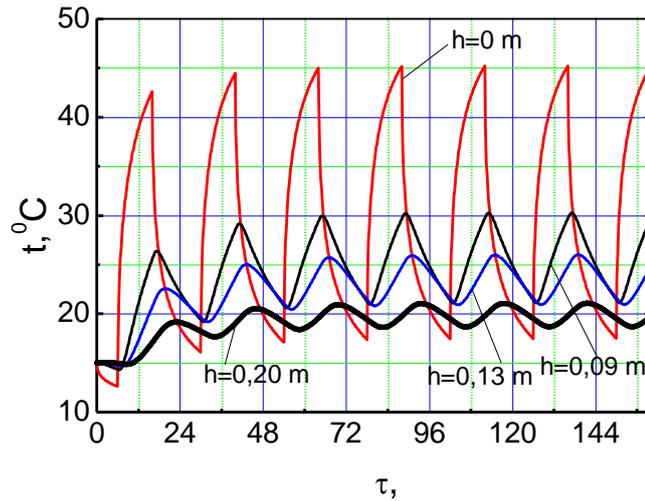


Рисунок 2.5. Суточный ход температуры в грунте толщиной 0,2 м на различных глубинах  $h$ , модель с облучением Солнцем с 8 до 18 ч.

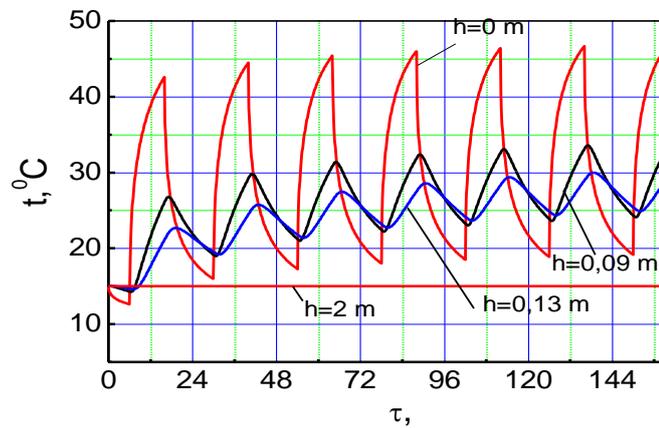


Рисунок 2.6. Суточный ход температуры в грунте толщиной 2 м на различных глубинах  $h$ , модель с облучением Солнцем с 8 до 18 ч.

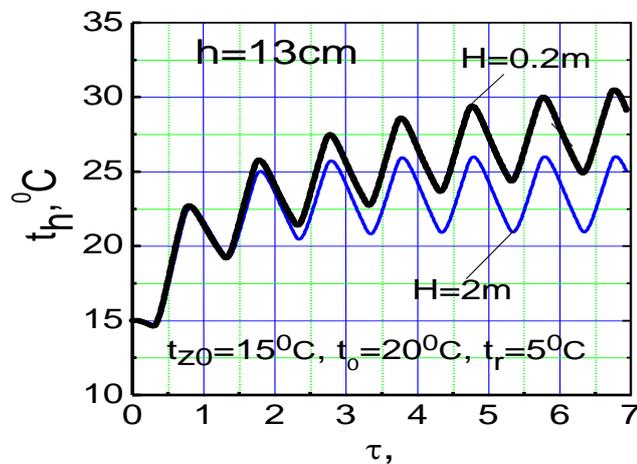


Рисунок 2.7. Сравнительные характеристики суточного хода температуры грунта на глубине 13 см для толщины слоя грунта  $H = 0,2\text{ m}$  и  $H = 2\text{ m}$ .

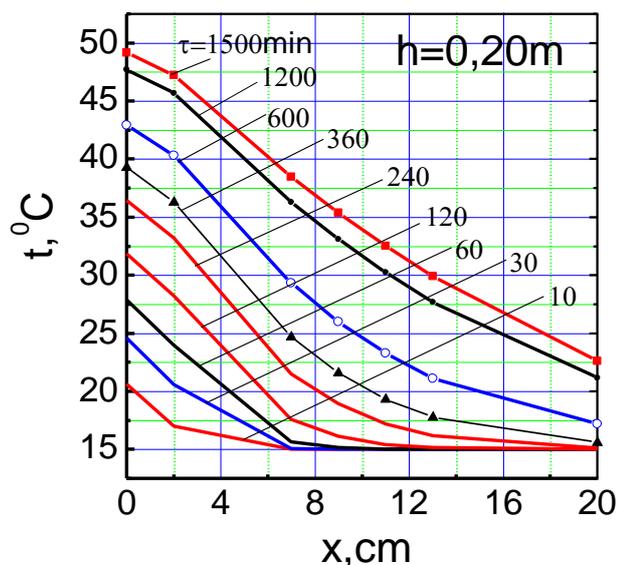


Рисунок 2.8. Изменения по времени температуры грунта на различных глубинах при постоянном облучении.

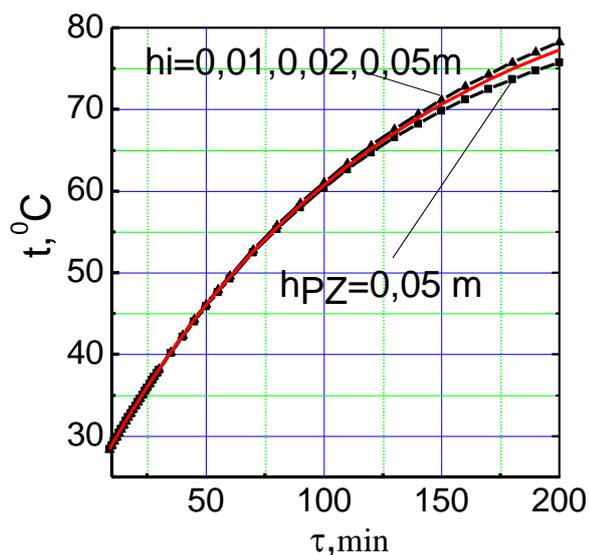


Рисунок 2.9. Динамика нагрева воды в ГСВК (толщина слоя воды 0,013 м) и температуры нагрева ГСВК второго типа, без дополнительной теплоизоляции между приемником и грунтом.

На рис.2.5. и рис.2.6. приведены расчетные данные динамики нагрева различных по глубине слоев грунта общей толщиной 0.2 м и 2 м для характерных теплофизических свойств грунта при времени облучения в день 10 ч с 8.00 до 18.00 часов при плотности солнечной радиации  $E_c = 480 \text{ Вт/м}^2$ . Как видно из рис.2.5.

температура грунта на толщине слоя  $h=0,2$  м изменяется в зависимости от времени и от глубины. По графику 2.6 видно, что на поверхности грунта при  $h=0$  м температура грунта набирает максимум через 62 часа, то есть 2,58 суток, на глубине  $h=0,09$  м 64 часа, а на глубине  $h=0,13$  м за 66 часов.

Необходимо отметить, что температура на поверхности грунта при  $h=0$  м растет намного быстрее, чем на глубинах  $h=0,09$  м,  $h=0,13$  м и  $h=0,2$  м, что объясняется наибольшим распространением температуры на поверхности грунта и медленным распространением при малых глубинах грунта. Достаточно заметно падают с глубиной и амплитуды колебаний температуры, причем как видно немного сдвигаются и периоды колебаний. Как видно из графика 2.6 температура грунта на глубине 2 метра практически не изменяется.

На рис.2.7. приведены сравнительные кривые изменения температур на глубине 0,13 м для конечного слоя толщиной 0,2 м и бесконечного толстого слоя толщиной 2 м. Как видно, различий между кривыми в первые двое суток практически не имеется. Т.е. в модели ГСВК второго типа можно брать грунт толщиной около 0,2 м. В связи с этим для грунта толщиной 0, 20 м было исследовано время установления регулярного режима. Кривые изменения температуры на различных глубинах при постоянном облучении Солнцем приведены на рис.2.8. Результаты исследования ГСВК второго типа (между приемником и грунтом отсутствует теплоизоляция) приведены на рис.2.9. На рис.2.9. приведена динамика нагрева воды в приемнике ГСВК, там же приведены кривые нагрева воды в «обычном» СВК.

Как видно, до температур нагрева  $60^{\circ}\text{C}$  различие между «обычной» и грунтовой СВК практически не наблюдается. Это также говорит о том, что в этих пределах температур у этих СВК практически одинаковыми будут и эффективность, или тепловой КПД.

### ***2.3. Методика расчета солнечного потока, входящего в гелиоустановку***

Теплоприемники низкопотенциальных солнечных установок (НПСУ) в зависимости от рельефа местности могут иметь различную ориентацию относительно горизонтальной поверхности (даже неоптимальную для данной широты местности) и их производительность будет напрямую связана с количеством солнечной энергии, падающей на теплоприемники (СВК) при такой ориентации. Очевидно, что поглощенное теплоприемником НПСУ количество солнечной радиации (СР) будет меньше количества СР, падающей на поверхность прозрачного ограждения. Эта разница зависит от угла падения СР на поверхность

прозрачного покрытия (i), следовательно, зависит от времени дня и соотношения между прямой (I), рассеянной (D) радиации.

В достаточной мере освещены вопросы расчета плотностей прямого и суммарного солнечного излучения, приходящиеся на поверхности, ориентированные в пространстве различным образом [42]. Также учитываются отражение и поглощение солнечного излучения на прозрачных (стеклянном и пленочном) ограждениях теплиц.

Однако, при различных условиях облачности атмосферы, то есть при различных соотношениях прямого I и рассеянного D солнечного излучения, даже при одинаковом значении падающего суммарного солнечного излучения Q, величина прошедшего через прозрачное ограждение плоских солнечных коллекторов суммарного излучения  $Q_n$  будет различной. Причиной этому является различные углы падения I и D на поверхность прозрачного ограждения, следовательно, различные значения их отраженных и поглощенных долей в этом ограждении.

Нами предлагается методика расчета плотности суммарного солнечного излучения, прошедшего через прозрачное ограждение с учетом угла падения и соотношения I и D, то есть в условиях различной облачности атмосферы.

Сущность предлагаемой методики заключается в следующем:

1. Величина потерь на отражение и поглощение прямого солнечного излучения зависит от его угла падения  $i$  на поверхность прозрачного ограждения и определяется по известной методике [43,61].

2. Рассеянное солнечное излучение заменяется излучением, поступающим от всех точек полупространства, в виде сходящихся лучей на рассматриваемую точку поверхности и равномерно распределенных в полупространстве.

3. Все полупространство вокруг рассматриваемой точки разделяется на ряд секторов (задача рассматривается в плоскости), где потери рассеянного излучения на отражение и поглощение в прозрачном ограждении принимают равным среднему их значению внутри сектора.

4. Прошедшее через прозрачное ограждение солнечное излучение определяется как сумма прошедшего прямого солнечного излучения  $I_n$  и суммарного прошедшего рассеянного излучения  $D_n$ , распределенного по различным секторам.

Пример распределения полупространства (точнее, половины полупространства) на сектора приведен на рисунке 2.10. Здесь половина полупространства разделена на два сектора, где в каждом потери на отражение, составляющие основную долю потерь в прозрачном ограждении, растут квазилинейно. В первом секторе, составляющем от  $0^{\circ}$  до  $45^{\circ}$ , потери на отражение

растут медленно, во втором секторе, составляющем от  $45^{\circ}$  до  $90^{\circ}$ , который в свою очередь разделен на несколько подсекторов - интенсивно.

Для лучей, лежащих в первом интервале, потери на отражение от поверхности стеклянного ограждения толщиной 5мм составляют в среднем 7 % [42,43,63].

Второй сектор, в свою очередь, в зависимости от скорости возрастания потерь излучения на отражение с ростом угла  $i$  (два квазилинейных участка) разделен на 4 подсектора, и для них на рисунке также приведены расчетные величины потерь излучения отражением.

В первом секторе суммарные потери на отражение и на поглощение от стекла составляют 12 %, а среднее значение таких потерь в пределах остальных четырех секторов составляет 51,3 %.

В связи с изложенным, формулу для расчета, прошедшего через стеклянное ограждение и поглощаемого теплоприемником, находящимся под стеклянным покрытием солнечного излучения  $Q_{п.т}$ , можно выразить следующим образом:

$$Q_{п.т} = I_0(1-R_n)T_i \cdot A + 2 \cdot D(1-R_{1д})T_{j1} \cdot A + 2 \cdot D(1-R_{2д})T_{2j} \cdot A = A[I_0(1-R_n)T_i + 2 \cdot D(1-R_{1г})T_{j1} + 2 \cdot D(1-R_{2г})T_{2j}] \quad (2.8)$$

где  $I_0$ - плотность прямого солнечного излучения,  $R_n$ - его потери на отражение,  $T_i$ -коэффициент пропускания стекла для данного угла падения  $i$ ,  $A$ - коэффициент поглощения тепловоспринимающей поверхности (принят равным как для  $I$ , так и для  $D$  и не зависящим от  $i$ ),  $R_{1д}$ -потери  $D$  на отражение на первом секторе,  $R_{2д}$ -то же самое среднее значение для остальных четырех секторов,  $T_{j1}$  и  $T_{j2}$ - среднее значение коэффициента светопропускания стекла в первом и остальных секторах.

На рисунках 2.11. и 2.12. приведены результаты, полученные расчетным путем на основе формулы (1) плотности (в относительных единицах) прошедшего через стеклянное покрытие и поглощаемого теплоприемником суммарного солнечного излучения  $Q_{п.т}$  в разное время года: в середине апреля (а), в середине июля (б) и в середине октября (в) при различных углах наклона солнечного водонагревательного коллектора (СВК) относительно горизонта (СВК ориентирован строго на юг, часовой угол  $\gamma=0$ ) для двух случаев облачности: в ясный день ( $I=0,8$ ,  $D=0,2$ ), в день со средней облачностью ( $I=D=0,5$ ). Как видно из рисунков, величина прошедшего через стеклянное покрытие СВК зависит не только от времени дня -угла падения  $I$  на стеклянное покрытие но и от соотношения  $I$  и  $D$ . В ясную погоду основную долю суммарного излучения составляет прямое излучение, в утренние и вечерние часы последнее падает на поверхность стекла под большим углом, следовательно, его потери на ограждении существенны, что приводит в свою очередь к существенному уменьшению  $Q_{п.т}$ . В полуденное время, когда значение  $i$  небольшое, через стеклянное ограждение

проходит максимальное значение солнечного излучение - как  $I$ , так и  $D$ . В дни со средней облачностью, когда  $D$  сравнимо с  $I$ , доля прошедшего через стеклянное покрытие излучения в утренние и вечерние часы возрастает. В полуденное время, однако, величина  $Q_{п.т.}$  остается ниже, чем в случае ясной погоды.

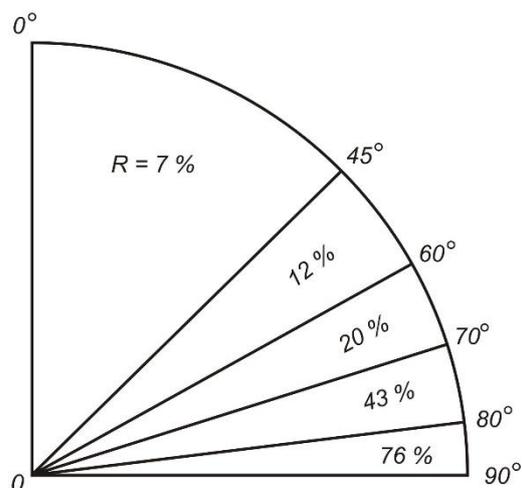


Рисунок 2.10. Распределение половины полупространства над плоским коллектором на секторах со средними значениями потерь на отражение.

На рис. 2.13. приведены зависимости относительной плотности прошедшей через стеклянное покрытие суммарной солнечной радиации в день со сплошной облачностью. Как видно из рисунка, относительная величина  $Q_{п.}$  остается постоянной в течение всего дня, независимо от времени дня. Как видно из рис. 2.12, в горных условиях, когда в большинстве случаев наблюдаются дни с переменной облачностью, оптимальным углом наклона плоского солнечного коллектора солнечной водонагревательной установки или солнечной сушильной установки является угол  $30^{\circ}$ . Такой угол наклона обеспечивает наибольшее поступление солнечного излучения на теплоприемники плоских солнечных коллекторов.

В апреле-мае месяце целесообразно устанавливать плоские солнечные коллекторы под углом  $40^{\circ}$  (широта местности).

Чем больше облачность, то есть чем больше диффузное составляющее излучения, тем меньше доля прошедшего через стеклянное покрытие солнечного излучения.

Предлагаемая методика расчета может быть применена и для любого типа прозрачного отражающего материала, в том числе и для пластмассовых пленок.

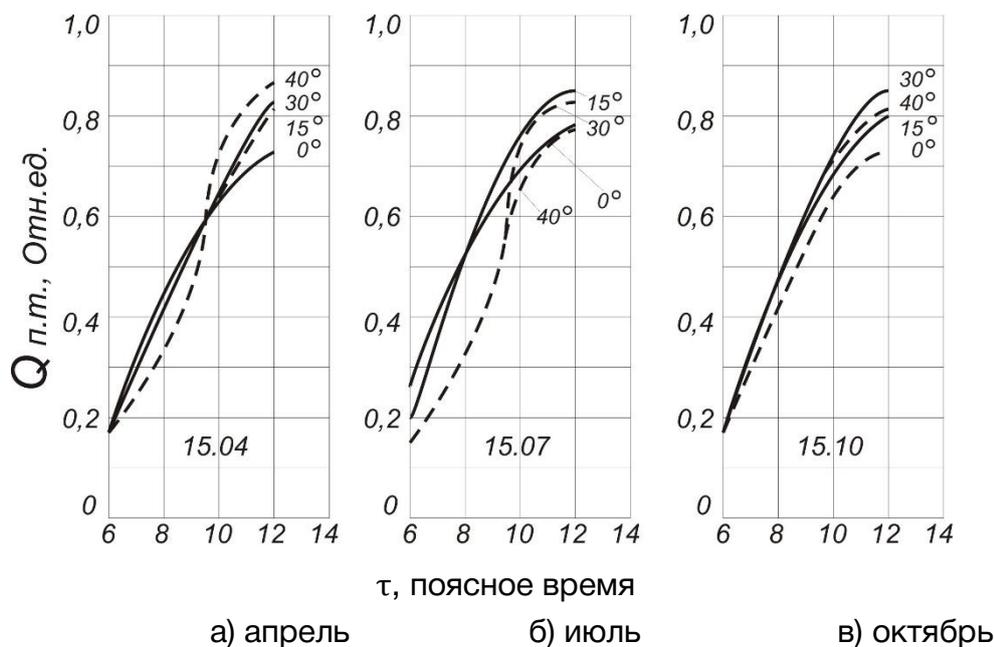


Рисунок 2.11. Относительные плотности прошедшей через стеклянное ограждение суммарной солнечной радиации  $Q_p$  в ясный день ( $I=0,8, D=0,2$ ) при различных углах наклона плоского солнечного коллектора к горизонту (часовой угол  $\gamma=0$ ) в различное время года.

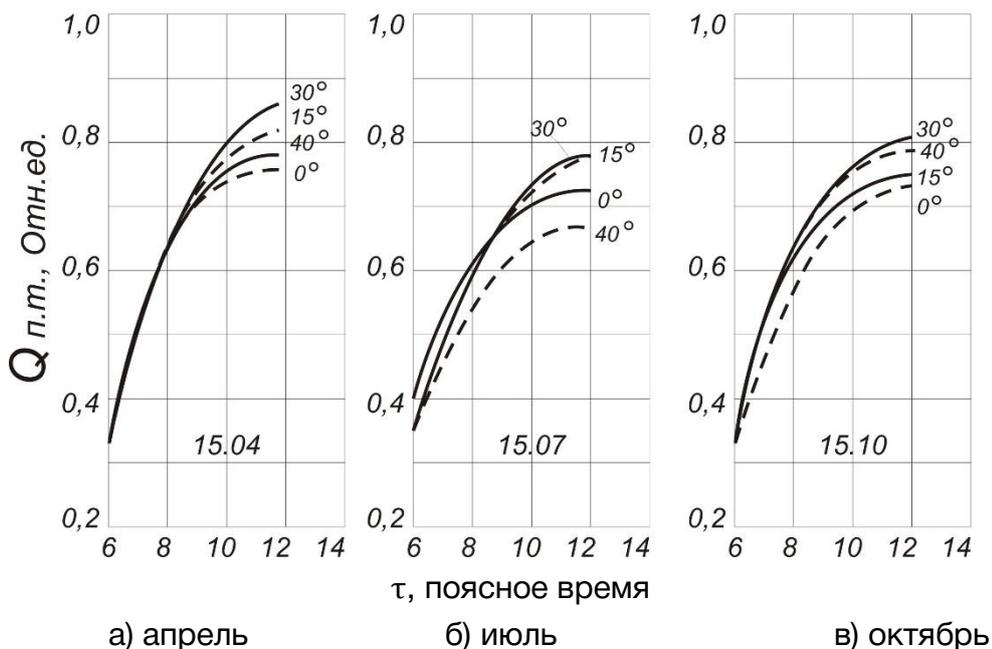


Рисунок 2.12. Относительная плотность прошедшего через стеклянное ограждение суммарного солнечного излучения в день со средней облачностью ( $I= D=0,5$ ) при различных углах наклона плоского солнечного коллектора к горизонту (часовой угол  $\gamma=0$ ) в различное время года.

## Экспериментальное исследование облученности теплоприемников

Экспериментальное исследование облученности теплоприемников проводилось на специально созданном оборудовании-стенде, схема и общий вид которого приведены на рис.2.14. Он состоит из ящика 1, размерами 700x700x400 мм, сделанного из древесноволокнистой плиты, внутренние стенки которого окрашены в черный цвет. Сверху ящик имеет стеклянное покрытие 2, толщиной 0,005 м. Внутри ящика установлен пиранометр 3 марки П-80, регистрирующим прибором которого служит гальванометр ГСА-1А.

Во время экспериментов ящик устанавливался в горизонтальном положении. Для измерений выбирались ясные, безоблачные дни, дни со средней облачностью и сплошной облачностью.

Угол падения прямого солнечного излучения рассчитывался по формуле 2.8.

Полученные экспериментально данные по солнечной радиации приведены в виде пунктирных линий с точками на рис. 2.11 -2.12. Как видно из рисунка, расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет в среднем 5-6 %. Это расхождение увеличивается и составляет в утренние и вечерние часы, когда высота солнца небольшая, около 10-12 %, что объясняет необходимость учета яркости неба в расчетных формулах.

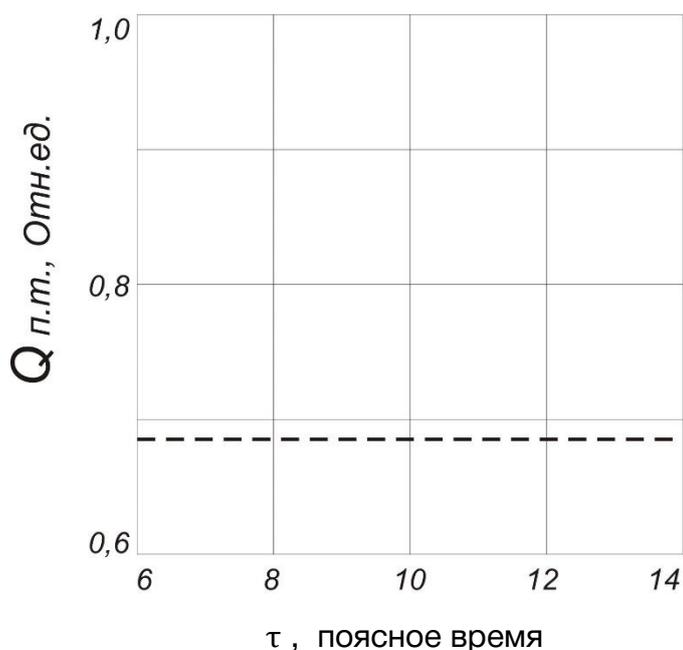


Рисунок 2.13. Относительная плотность прошедшего через стеклянное ограждение суммарного солнечного излучения в день со сплошной облачностью ( $I=0$  и  $D=1$ ) при различных углах наклона плоского солнечного коллектора к горизонту (часовой угол  $\gamma=0$ ).

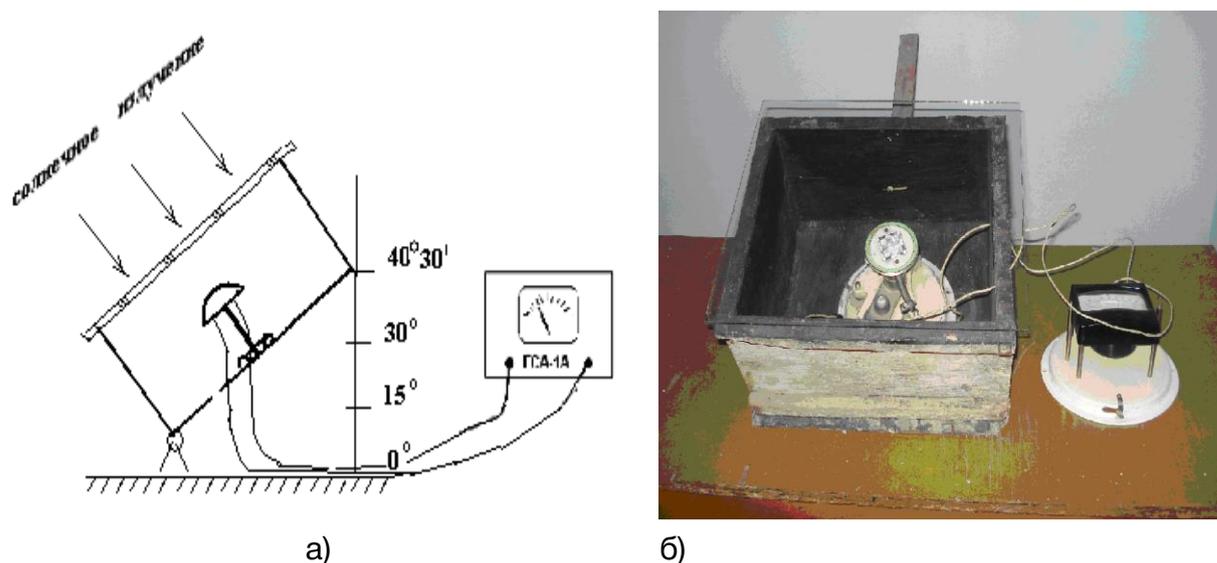


Рисунок 2.14. Схема (а) и общий вид (б) экспериментального стенда.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- предложенная нестационарная единичная тепловая модель солнечного водонагревателя, позволяет исследовать динамику температур нагрева основных элементов СВК (прозрачное ограждение, приемник, теплоизоляционное грунтовое дно).

- предложена методика оценки потока солнечного излучения проходящего в течение дня через прозрачное ограждение для СВК с различной отличающейся ориентацией. Это позволяет прогнозировать режим работы низко потенциальных солнечных установок с учетом влияния облачности атмосферы.

## ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

### *3.1. Разработка грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов*

Анализ работ по гелиотехническим устройствам, использующих в своей конструкции грунт, а также данные по теплоаккумулирующим свойствам грунта позволяют сделать вывод, что использование в конструкции разрабатываемых СВК теплоаккумулирующих свойств грунта (теплоемкость) не даст желаемого результата. При наблюдающихся значениях температуры воздуха внутри СВК (50-70°C), аккумулярование тепловой энергии в объеме грунта невыгодно, так как получаемая температура теплоносителя (воздуха) при разрядке такого грунтового аккумулятора будет относительно низкой. Такое тепло невозможно использовать для получения горячей воды.

Исходя из этого, нами разработаны два типа СВК, использующие в своей конструкции только несущие и теплоизолирующие свойства грунта. Это позволяет намного упростить конструкцию и существенно снизить стоимость СВК.

Первый тип разработанного СВК расположен непосредственно в грунте, а точнее в качестве его теплоизолированного корпуса используется прямоугольная яма глубиной 160-180 мм со сторонами 650x1550 мм (в соответствии с размерами теплоприемника-абсорбера), выполненная в естественном грунте (рис.3.1).

На дно корпуса-ямы 1 уложена полиэтиленовая пленка 2, на которую, в свою очередь укладывается теплоизоляционный материал 3 (соломенная мата или просто сухая солома, камышовая мата (камышит), пенопласт и др.). Теплоизоляционные подставки 4 удерживают плоскую металлическую тепловоспринимающую панель – абсорбер 5 на определенном расстоянии от грунта, не давая спрессоваться соломенной теплоизоляции. Через патрубки 6 протекает нагреваемая вода. Яма-корпус закрывается сверху листовым стеклом 7 или полиэтиленовой пленкой.

Как показала практика, если в качестве теплоизолирующего материала используется сухая солома, пенопласт или более или менее твердый материал, то можно обойтись и без теплоизолирующих подставок.

Общий вид грунтового солнечного водонагревательного коллектора (ГСВК) показан на рис.3.2. Один из них покрыт листовым стеклом, другой – полиэтиленовой пленкой (рядом расположен испытываемый параллельно традиционный СВК с металлическим корпусом). Наличие теплоизолирующего настила уменьшает потери тепла в грунт, а полиэтиленовая пленка, прижимаемая

по периметру стеклянными покрытием на борт ямы, предотвращает попадание в рабочий объем ГСВК испаряемой влаги из грунта и запотевание стекла. Небольшой бортик из трамбованного грунта, устраиваемый по периметру ямы и некоторый запас стекла и полиэтиленовой пленки, прикрывающие этот бортик, предотвращают попадание осадков внутрь ямы – в рабочий объем СВК.

Если грунт на местности имеет уклон в южную сторону, то для устройства ГСВК можно использовать этот естественный уклон. Если же местность ровная, то для улучшения поглощения солнечного излучения, в грунте делается некоторый уклон и там устраивается СВК (рис.3.3).

СВК, располагаемый в грунте, в зависимости от потребности, можно изготовить площадью в несколько квадратных метров. Для этого, в общую яму необходимых размеров укладывается в ряд несколько абсорберов и яма укрывается листовым стеклом, например, разрезанным пополам (размерами 1200x650мм). Под размер стеклянных листов, по их стыкам ребром укладывается деревянная полоска, на которую опираются краями листы стекла.

Если СВУ необходимо установить на каменистой местности, рытье прямоугольной ямы площадью в несколько квадратных метров, а то и больше, создаст определенные трудности, а то и вовсе становится не осуществимым обычными инструментами. Для такого случая нами разработан второй тип СВК, который можно устроить на любом типе грунта - в обычном или песчаном, а также на камне и на площадке с любым (разумным) уклоном и не обязательно плоской.

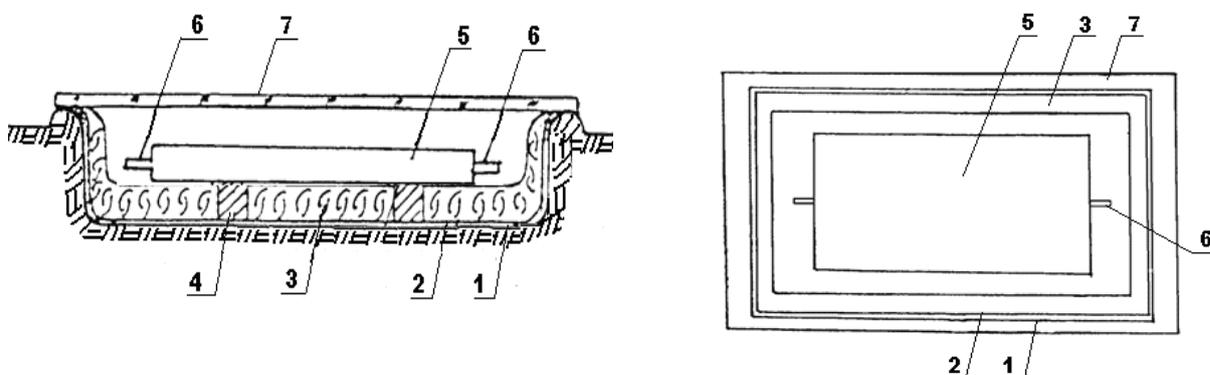
Корпус СВК выполняется из сборных элементов в виде тонких деревянных досок, устанавливаемых непосредственно на поверхности грунта, взаимная плоскостность верхних краев которых обеспечивается с помощью регулирующих элементов, устанавливаемых на площадке с любым рельефом, и водонагревательный регистр и теплоизоляция расположены внутри корпуса, на гидроизолирующей полиэтиленовой подстилке.

Устройство предлагаемого СВК приведено на рис.3.4. Оно содержит прямоугольный корпус 1, выполненный из разборных деревянных досок шириной 10-12 см, толщиной 2-2,5 см, и длиной, например, 130 см. Боковые элементы имеют крепежные элементы 2 в виде металлических полосок с отверстиями. На концах этих элементов имеются гайки 3, в которые входят и перемещаются металлические опорные винты 4. Два других торцевых элемента 5 соединяются с боковыми досками 1 с помощью металлических полосок 6 и крепежных винтов.

На верхнюю грань боковых досок корпуса 1 и 5, на всю их длину наклеивается полоска поролон 7 толщиной 0,7-1,0 см. Корпус СВК сверху покрывается листовым стеклом 8. Он укладывается на слой поролон. Вместо стекла может быть использована также и полиэтиленовая пленка.

Внутри корпуса СВК, по всей ее площади, прямо на грунт подстилается полиэтиленовая пленка 9, края которой перекидываются через верх рамы –

корпуса СВК. На пленке укладывается слой теплоизолирующего материала (солома, сухая трава и т.п.) 10, достаточной толщины (5-7 см, местами и более). На слой теплоизоляционного материала устанавливается (кладется) плоский металлический водонагревательный регистр – теплоприемник 11. Патрубки 12 регистра пропускаются через отверстия, сделанные на торцевых элементах корпуса.



- 1- корпус яма, 2-полиэтиленовая пленка, 3-теплоизоляционный настил, 4- теплоизоляционные подставки , 5 теплоприемник-абсорбер, 6- патрубки для циркуляции воды , 7- остекление

Рисунок 3.1. Схема грунтового солнечного водонагревательного коллектора.



Рисунок 3.2. Общий вид грунтового солнечного водонагревательного коллектора.

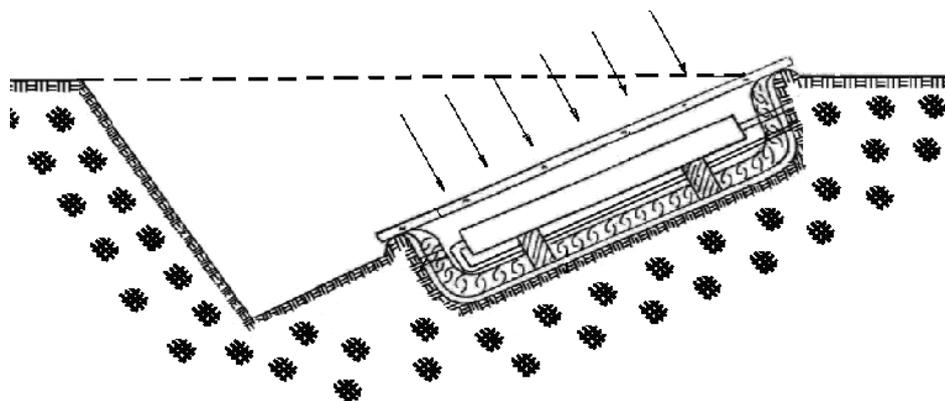


Рисунок 3.3. Схема расположения ГСВК на грунте с естественной горизонтальной поверхностью.

Корпус СВК, получающийся после соединения всех его частей в виде прямоугольной рамы устанавливается прямо на грунте и взаимная плоскостность боковых досок (которая необходима для плотной укладки верхнего стеклянного листа) обеспечивается регулировкой длин опорных винтов 4 на четырех углах корпуса.

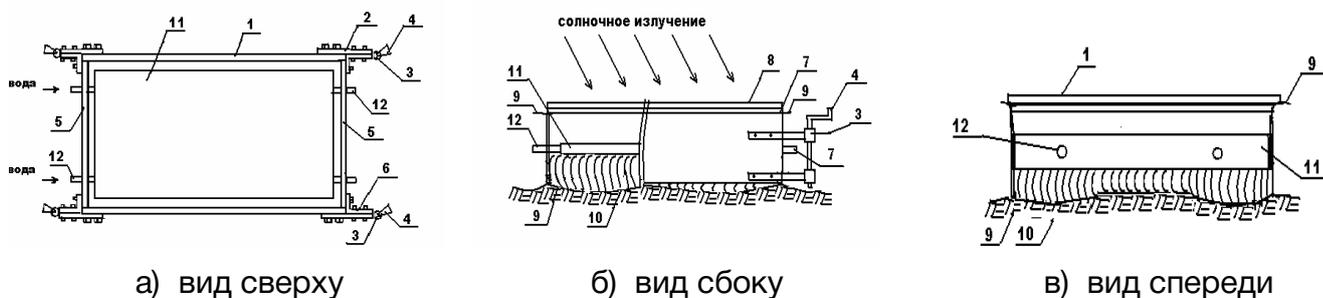
Благодаря полиэтиленовой пленке 9, подстланной на дне СВК с выступающими за пределы его корпуса краями, осадки не проникают во внутреннюю часть коллектора ни сверху, ни снизу. Стеклопанель не пропускает осадки внутрь СВК, а дождевая вода протекает под полиэтиленовой пленкой. Полиэтиленовая пленка также предохраняет СВК от проникновения в его внутреннюю часть испаряющейся от грунта влаги, тем самым предотвращает запотевание верхнего стеклянного покрытия, препятствующего проникновению солнечных лучей внутрь СВК.

Преимуществом предлагаемого СВК является возможность его устройства на любой более или менее плоской и не обязательно горизонтальной поверхности грунта любого типа: обычного, песчаного, каменистого или непосредственно на каменной площадке.

Общий вид предлагаемого СВК приведен на рис. 3.5.

Здесь нет необходимости делать яму в грунте. Он не содержит донную часть – листовую деревянную или металлическую материал (фанера, ДВП и др), который является необходимым элементом большинства традиционных плоских СВК. Следовательно, он прост в конструкции, следовательно, дешев. Для его устройства требуется минимум физических затрат.

На основе разработанных ГСВК можно сделать и солнечные воздухонагревательные коллекторы для передвижных солнечных сушильных и солнечных отопительных установок, используемых в полевых или горных условиях.



1- прямоугольный корпус, выполненный из разборных деревянных досок шириной 10-12 см, толщиной 2-2,5 см, и длиной 130 см; 2-боковые крепежные элементы в виде металлических полосок с отверстиями; 3- гайки на концах крепежных элементов; 4-металлические опорные винты; 5- торцевые элементы соединяются с боковыми досками; 6- металлические полоски крепежных винтов; 7 - полоска поролона толщиной 0,7-1,0 см; 8 - листовое стекло; 9 – полиэтиленовая пленка; 10 - теплоизолирующий материал (солома, сухая трава и т.п.); 11 - плоский металлический водонагревательный регистр – теплоприемник; 12 - патрубки регистра.

Рисунок 3.4. Разрез схемы солнечного водонагревательного коллектора «Грунт» [A9].



Рисунок 3.5. Общий вид СВК, располагаемого на грунте.

Для этого достаточно водонагревательный регистр заменить плоским или волнистым металлическим листом и сделать на нижних и верхних торцевых ограждениях корпуса отверстия для входа и выхода воздуха.

### ***3.2. Исследование температурного поля грунта в грунтовых солнечных водонагревательных коллекторах***

Разработанные нами коллекторы, устанавливаемые непосредственно на верхней части грунта, где несущим и теплоизолирующим корпусом служит сам грунт, как будет показано ниже, показали несколько лучшие теплотехнические и эксплуатационные свойства, чем традиционные СВК, имеющие деревянные и металлические корпуса [4,5]. Это имеет место в том случае, если при прочих

равных условиях тепловые потери корпуса СВК в окружающую среду будут меньшими, чем у традиционных коллекторов.

Ниже приведены результаты расчетного исследования температурного поля грунта под СВК, оказывающего влияние на величину его теплотерь.

Температурное поле примем величиной одномерной, направленной от верхнего уровня грунта в глубину.

Ход температуры в различных глубинах грунта под СВК в течение дня рассчитывался по формуле [64-68]:

$$T = T_{\max} [e^{-x((\pi/(a \cdot z)))^{1/2}}] \cos \{[x((\pi/(a \cdot z)))^{1/2}] - ((2 \cdot \pi \cdot t)/z)\} \quad (3.1)$$

где T- температура на глубине x от поверхности грунта под СВК,  $T_{\max}$  - амплитуда колебания температуры на поверхности грунта в СВК, a - коэффициент теплопроводности грунта, z – продолжительность полного периода температурной волны (z = 24 часа).

Нами рассчитано время запаздывания хода максимума температуры на различных глубинах грунта x по формуле [64-68]:

$$\Delta t = x/(((4 \cdot a \cdot \pi)/z)^{1/2}) \quad (3.2)$$

В таблице 3.1. приведены результаты расчетов.

Таблица 3.1

Время запаздывания хода максимума температуры на различных глубинах грунта

Глубина, см	Время запаздывания, мин		
	супесь	глина	суглинок
0	0	0	0
3	0,48	0,54	0,96
5	0,84	0,96	1,62
7	1,14	1,38	2,28
10	1,68	1,98	3,32
20	3,38	3,91	6,61
30	5,10	5,94	9,62

Как видно из таблицы, время запаздывания хода максимума температуры на глубинах, представляющих интерес для грунтовых СВК (до 0,20 м), составляет от 3,38 до 6,61 мин.

Нами рассчитан тепловой поток и количество теплоты, переносимые через единицу площади СВК в различные типы грунта от дна СВК с различной теплоизоляцией по формуле [64-68]:

$$q = 0,8 \cdot T_{\max} (\lambda \cdot c \cdot \rho \cdot z)^{1/2} \quad (3.3)$$

В таблице 3.2. приведены значения количества тепла, проходящего через единицу поверхности грунта за полупериод (Дж) и количество теплового потока

(Вт) в отсутствие теплоизоляции под регистром, а также с различными теплоизоляциями.

Таблица 3.2.

Количество теплоты, проходящей через единицу поверхности грунта за полупериод (Дж) и величина теплового потока (Вт) в отсутствие теплоизоляции под регистром, а также с различными видами теплоизоляции

Вид теплоизоляции	Вид грунта		
	суглинок	супесь	глина
Без теплоизоляции	1013/0,023	2587/0,059	5560/0,128
Камышит	896/0,020	2286/0,053	4914/0,114
Соломит	825/0,019	2106/0,049	4526/0,105
Пенопласт	778/0,018	1986/0,046	4267/0,099

Нами также рассчитаны глубины, на которых температура грунта уменьшается в 1,5 и 2 раза по формуле:

$$x = \ln(m((a \cdot z)/\pi)^{1/2}) \quad (3.4)$$

Результаты расчетов по формуле (3.4) изменения температуры грунта в зависимости от глубины приведены в таблице 3.3.

Таблица 3. 3.

Глубины, на которых температура грунта уменьшается в 1,5 и 2 раза

Вид грунта	Глубина грунта, м	
	m = 1,5	m = 2,0
Супесь	2,77	4,78
Глина	4,65	8,02
Суглинок	5,4	9,31

Как видно из таблицы, уменьшение температуры под СВК в 1,5 и 2 раза происходит на больших глубинах и с точки зрения ее влияния на теплопотери СВК через грунт носит чисто теоретический характер.

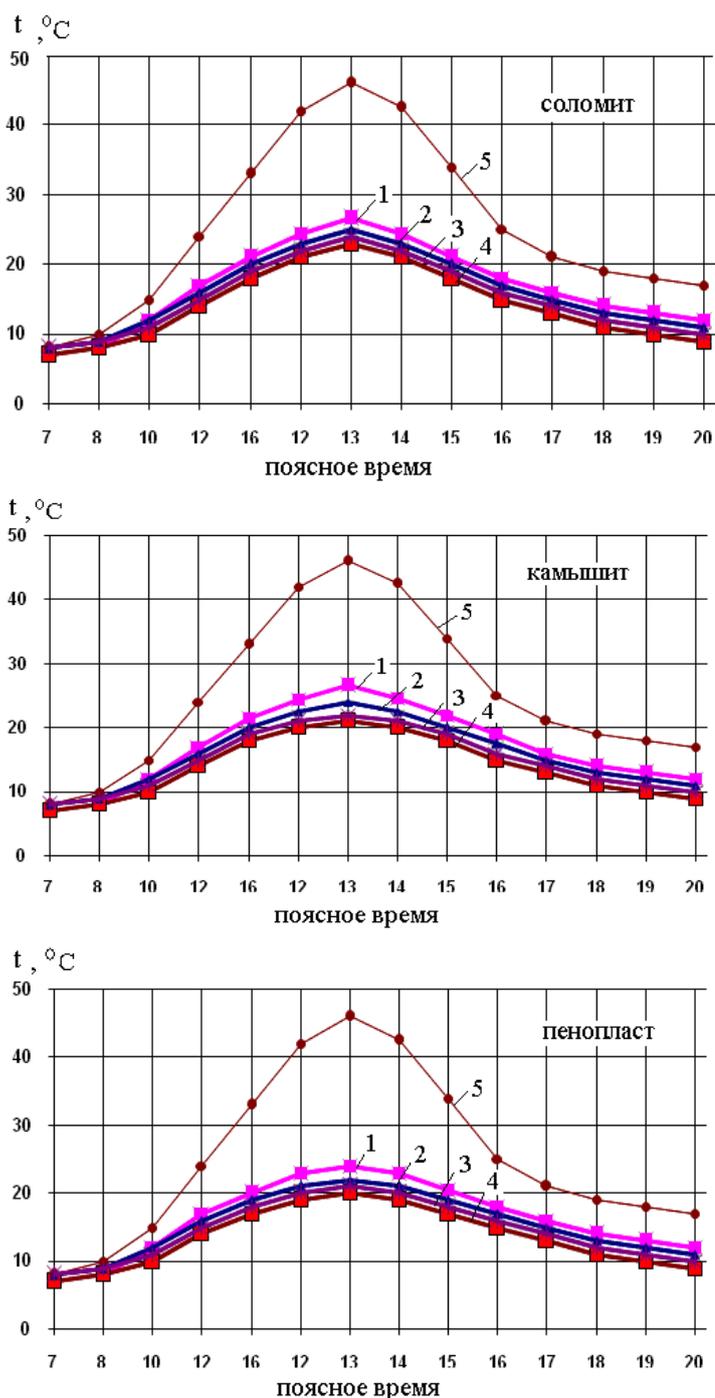
Измерения температуры на поверхности почвы с характерным для нашего региона растительным покровом (редкая низкая трава), с различной ориентацией (углом наклона к горизонту) показали, что температура, измеряемая с помощью внедренных непосредственно на поверхностный слой (на глубине около 2мм) грунта медно-константановых термопар (в безветренную погоду), достигала максимального значения в июле месяце и равнялась 45-46°C. Температура грунта непосредственно под СВК зависит главным образом от температуры нижней части водонагревательного регистра-абсорбера. Во время экспериментов нами измерялась температура воздуха внутри СВК со стеклянным покрытием, температура нагреваемой воды при входе в СВК и выходе из него. Средняя температура нижней части регистра бралась равной средней температуре воды при входе в СВК и выходе из него. Температура грунта под СВК измерялась с

помощью, установленных на различных глубинах медно-константановых термопар в центре СВК, и расчеты также выполнялись для этой части грунта.

В экспериментах и в расчетах в качестве теплоизоляции использовались три вида материалов - соломит, камышит и пенопласт (наиболее практичные и доступные виды теплоизоляции) имеющие толщину 50 мм.

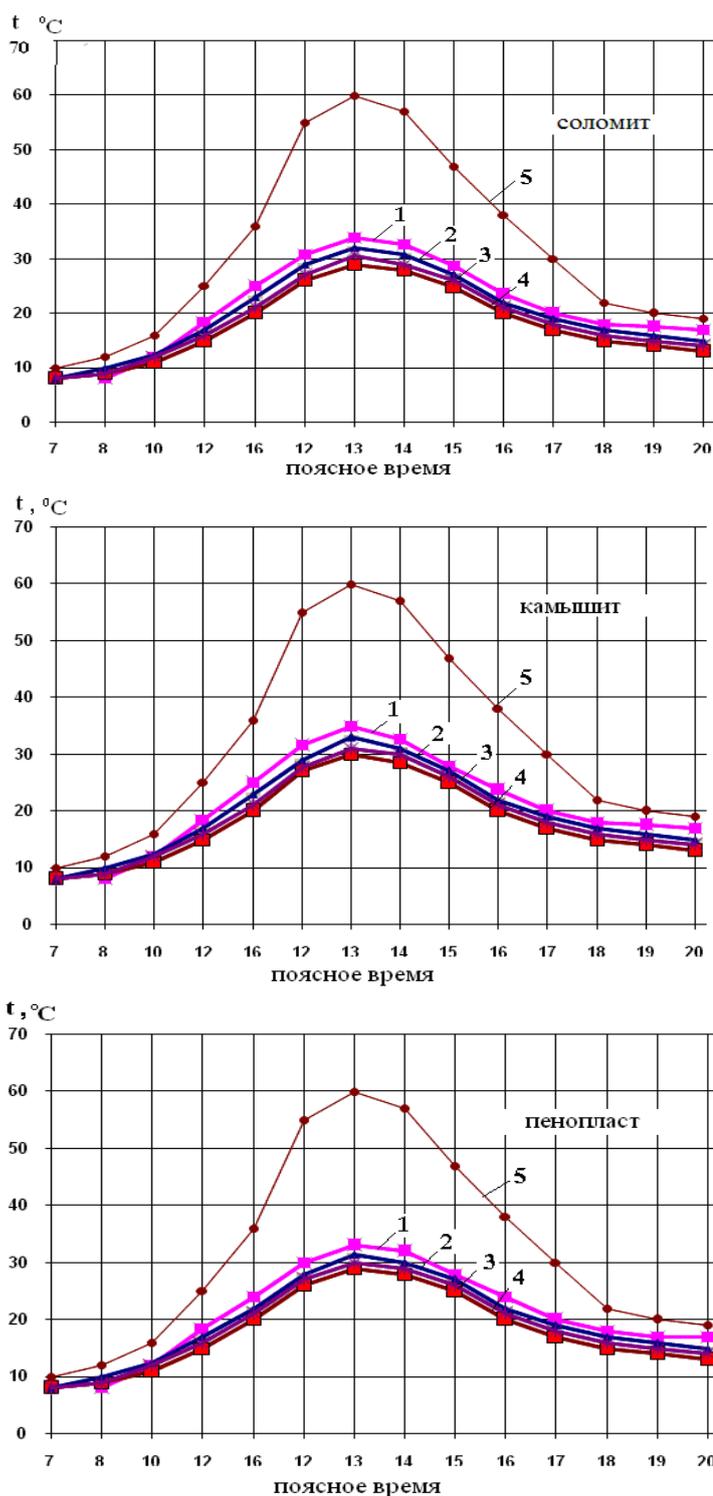
На рис. 3.6 - 3.8. приведены рассчитанные значения температуры на различных, представляющих практический интерес, глубинах грунта (грунтов) – глина, супесь и суглинок под СВК, для трех видов теплоизоляционного материала (соломит, камышит, пенопласт), в различное время года - апрель, июль и сентябрь месяц, т.е во время эксплуатации СВУ. Как видно из рисунков, и как следовало ожидать, температура грунта под СВК главным образом зависит от температуры нижней поверхности абсорбера. Как видно, температура грунта при толщине слоя  $h=0,2$  м изменяется в зависимости от времени и от глубины. Из графика 2.6 видно, что на поверхности грунта при  $h=0$  м температура грунта набирает максимум через 62 часа, то есть 2,58 суток, на глубине  $h=0,09$  м - 64 часа, а на глубине  $h=0,13$  м за 66 часов.

Необходимо отметить, что температура грунта под СВК (в яме) меньше чем температура грунта на такой же глубине грунта с естественной поверхностью на 5-7 °С. Это обусловлено тем, что источником теплового потока является нижняя часть регистра, отделенная от грунта слоем теплоизоляции, а не естественная поверхность грунта.



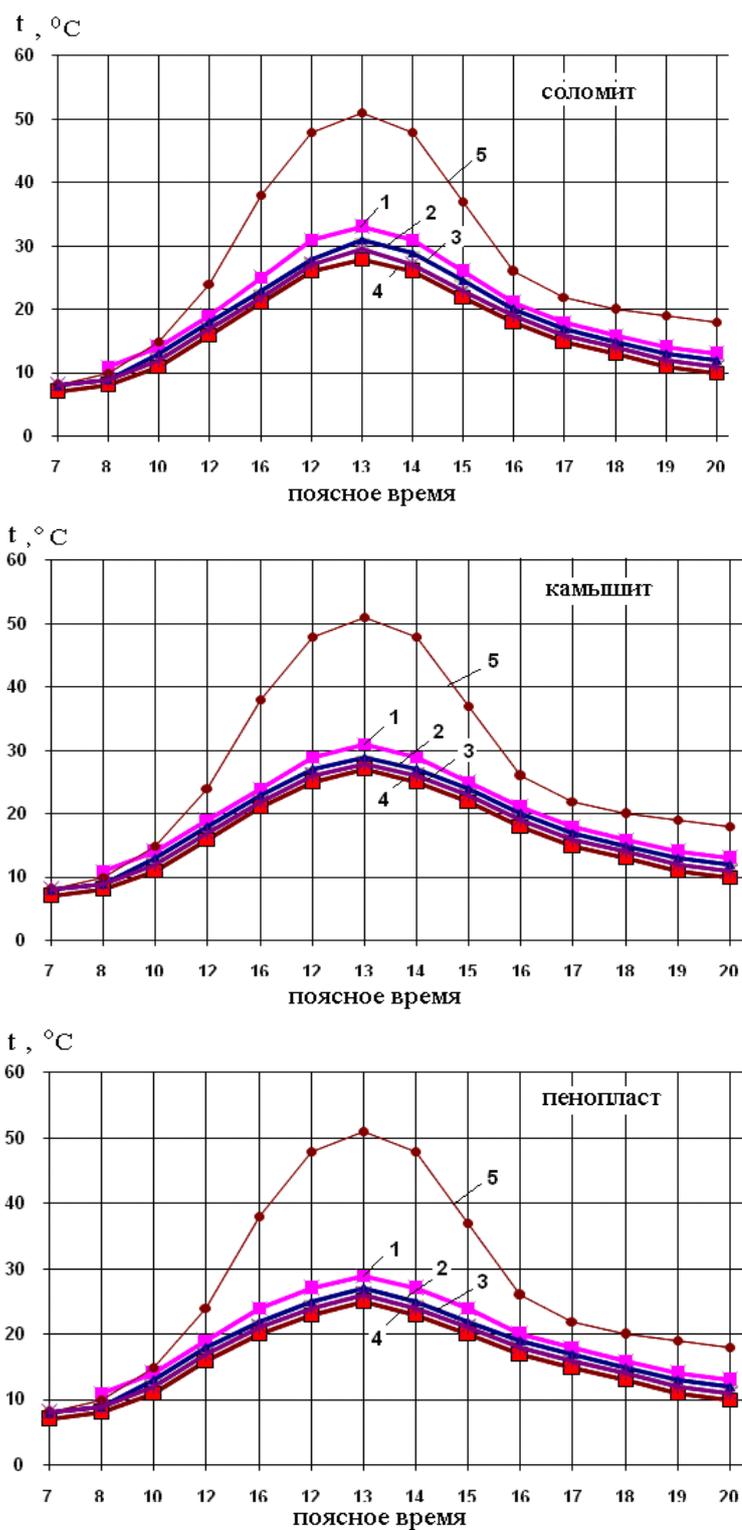
1-0,03 м, 2 -0,05 м, 3 – 0,07 м, 4 – 0,10 м, 5 - средняя температура нижней части абсорбера-регистра

Рисунок 3.6. Зависимость температуры грунта на различных глубинах под СВК в апреле месяце.



1- 0,03 м, 2 – 0,05 м, 3 – 0,07 м, 4 – 0,10 м, 5 - средняя температура нижней части абсорбера-регистра

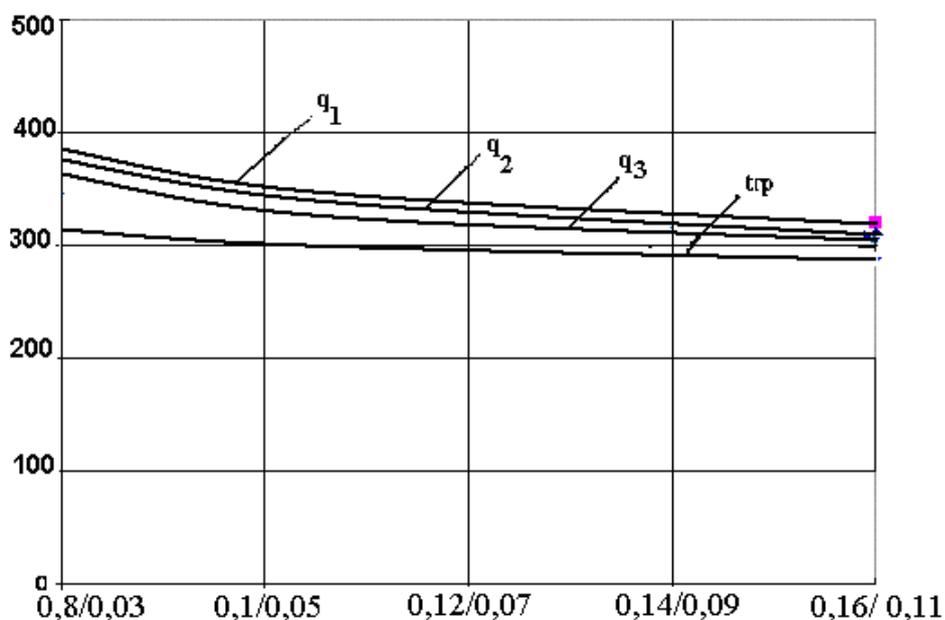
Рисунок 3.7. Зависимость температуры грунта на различных глубинах под СВК в июле месяце.



1-0,03 м, 2 – 0,05 м, 3 – 0,07 м, 4 – 0,10 м. 5 - средняя температура нижней части абсорбера-регистра

Рисунок 3.8. Зависимость температуры грунта на различных глубинах под СВК в сентябре месяце.

$q$ , Вт/м<sup>2</sup>;  $t_{гр}/10$ , °С ;  $h/\delta$  м (глубина ямы ГСВК/ толщина теплоизоляции)



$q_1$ - с камышитовой теплоизоляцией;  $q_2$ - с соломитовой теплоизоляцией;  $q_3$ - с пенопластовой теплоизоляцией;  $t_{гр}$  – температура на глубине грунта

Рисунок 3.9. Зависимость теплотерии СВК от глубины ямы, вида и толщины теплоизоляции.

На рис.3.9. показаны результаты расчетов суммарных удельных теплотерии СВК, расположенного в грунте, в зависимости от глубины ямы и толщины теплоизоляции. При этом расстояние между стекляннм покрытием и абсорбером равнялось 0,050 м. Эксперименты проводились при различных глубинах ямы для СВК: 0,08; 0,10; 0,12; 0,14 и 0,16 м. При этом толщина теплоизоляции равнялась соответственно 0,30; 0,50; 0,70; 0,90 и 0,11 м.

Как видно из рисунка, теплотерии от СВК с ростом глубины ямы, соответственно толщины теплоизоляции уменьшаются. Как и следовало ожидать, теплотерии в случае использования пенопласта наименьшие. Влияние на теплотерии СВК ослабевает при толщине теплоизоляции свыше 0,07 м.

Некоторые несоответствия разности теплотерии исследованных видов СВК и их КПД объясняется неизбежным наличием воздушных фильтрационных теплотерии, имеющих место через не плотности их деталей, которые не учитывались при расчетах.

На рис. 3.10. приведены результаты расчетов удельных (т.е. с 1 м<sup>2</sup> площади) теплотерии  $q$ , исследованных трех типов СВК, для июля месяца. При этом

суммарные теплотери СВК определялись как сумма теплотерь поверхности прозрачного ограждения, боковых частей СВК и его дна.

Как видно из рисунков, наименьшие теплотери имеют СВК, располагаемые в грунте. В этом случае, из-за отсутствия конвективных теплотерь дна и боковых частей, суммарные теплотери ниже, чем у СВК, располагаемого на грунте и тем более чем у традиционного СВК. Наибольшие теплотери у СВК наблюдаются во время максимального температурного напора между частями СВК и окружающей средой - примерно в 14<sup>00</sup> часов. Они для СВК с пенопластовой теплоизоляцией составляют 385 Вт/м<sup>2</sup>, для СВК с соломитом – 380 Вт/м<sup>2</sup>, а для СВК с камышитовой теплоизоляцией – 370 Вт/м<sup>2</sup>.

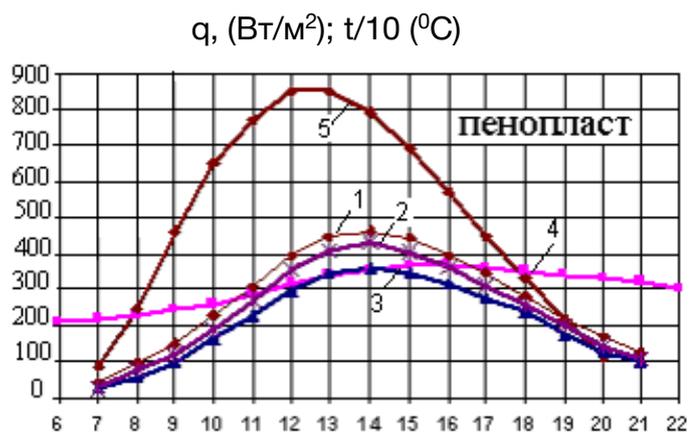
В случае пенопластовой теплоизоляции теплотери СВК, располагаемые в грунте и на грунте на 22,1 % и 5,2 % меньше теплотерь традиционных СВК. В случае использования соломита эти параметры равны 22,4 % и 5,1 %, а случае камышита – 24,5 % и 6,8 %. Теплотери, как и следовало, возрастают с увеличением температурного напора между частями СВК и окружающей средой и грунтом. Полученные результаты подтверждаются результатами эксплуатационных испытаний указанных СВК и расчетами их КПД. Наибольшим КПД обладает СВК, располагаемый в грунте, который доходит до 56- 58 %, что на 4- 6 % больше, чем у СВК, располагаемого на грунте и на 6-8% больше, чем у традиционного СВК. Кроме того, СВК, располагаемые в грунте и на грунте соответственно на 64 % и на 32 % дешевле, чем традиционные СВК.

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сказать, что температура грунта под СВК с теплоизоляцией несколько ниже, чем температура грунта на такой же глубине у СВК, имеющего открытую поверхность. Подтверждается ранее высказанное предположение о том, что теплотери корпусного грунтового СВК меньше благодаря меньшей теплотере его корпуса, находящегося в грунте, из-за отсутствия конвективных теплотерь, что и обуславливает несколько больший КПД грунтовых СВК по сравнению с обычными корпусными СВК.

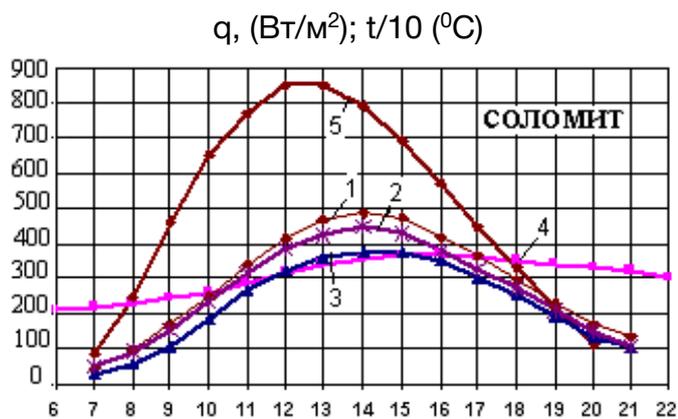
### ***3.3. Исследование теплотехнических характеристик грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов***

Одними из важных параметров, определяющих эффективность СВК, являются их теплотехнические параметры, например, величина теплотерь при эксплуатации.

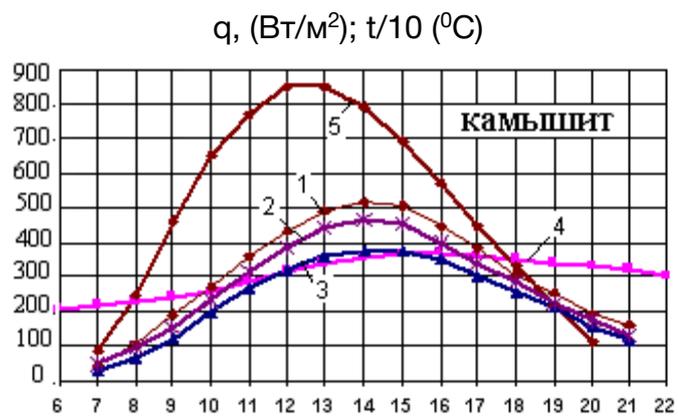
В данном разделе работы приведены результаты расчетных исследований теплотерь двух типов разработанных ГСВК.



а)  $\tau$ , поясное время



б)  $\tau$ , поясное время



в)  $\tau$ , поясное время

а – с пенопластовой теплоизоляцией, б- с теплоизоляцией из соломита, в – с теплоизоляцией из камьшита: 1-традиционного СВК, 2- СВК, располагаемого на грунте, 3- СВК, располагаемого в грунте, 4- температура окружающего воздуха, 5- плотность солнечной радиации

Рисунок 3. 10. Удельные теплотери  $q$  СВК.

Нами рассчитаны теплотери разработанных видов грунтовых СВК, а также традиционного СВК, в разное время года, при различных значениях плотности солнечной радиации, температуры окружающего воздуха, температуры грунта и при различных видах теплоизолирующих материалов (соломит, камышит, пенопласт) с разной их толщиной. Расчетная тепловая схема ГСВК, углубленного в грунт, приведена на рис. 3.11. При этом рассматривалась различная глубина расположения СВК первого типа в грунте. В расчетах использовались известные уравнения теплопроводности, конвективного и радиационного теплообмена [66].

При определении теплотехнических параметров применяемых теплоизоляционных материалов использовалась справочная литература [67].

Для камышита, соломита и пенопласта коэффициенты теплопроводности соответственно равны: 0,13; 0,10 и 0,04 Вт/м град.

Для характерного для г. Омш грунта (лессового суглинка) коэффициент теплопроводности принят равным 0,15 Вт/м град [67].

В качестве исходных, для расчета параметров, применялись измеренные значения средней температуры воздуха внутри СВК (над абсорбером), средняя температура нижней части самого абсорбера, прилегающего к слою теплоизоляции, температура верхней части грунта в яме СВК, измеренные с помощью термодпар. Кроме того в расчетах использована температура окружающего воздуха, плотность суммарной солнечной радиации на поверхности прозрачного ограждения СВК. Толщина теплоизоляции (камышита, соломита и пенопласта) при расчетах принята равной 0,05 м.

В качестве сравниваемого варианта взят серийно выпускаемый СВК Братского завода, с абсорбером типа «лист-лист» (толщиной 0,013 м), расположенным внутри металлического корпуса с пенопластовой изоляцией толщиной 0,05 м. Такие же абсорберы брались и в грунтовых СВК. В ГСВК из-за медленной скорости изменения температуры во всех их частях, тепловые процессы, протекающие в них для рассматриваемого времени можно принять как стационарные.

Баланс тепловых потоков, входящих в СВК и выходящих из него, приведен на рис. 3.12.

Падающее солнечное излучение с плотностью  $E$ , проникая через стекло поглощается теплоприемником и как правило часть теплоты распределяется на полезную теплоту  $Q_{\text{пол}}$ , часть теплоты  $Q_{\text{пот}}$  теряется и часть теплоты  $Q_{\text{акк}}$  аккумулируется в материалах СВК:

$$E = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{акк}} \quad (3.1)$$

В свою очередь полезная теплота определяется по известной формуле [6]:

$$Q_{\text{пол}} = m \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (3.2)$$

где  $m$  – расход воды (в экспериментах он равнялся  $1,6 \cdot 10^{-3}$  кг/с);

$C_p = 4,174$  кДж/кг · К (при 40°C) – теплоемкость воды;

$t_1$  и  $t_2$  соответственно температура воды при входе и выходе из СВК;

$t_1 = 18^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2 = 62^{\circ}\text{C}$ ; (на 10-12 июля, 13<sup>00</sup> часов)

$Q_{\text{пол}} = 293,84 \text{ Вт}$

Согласно тепловой схеме, общие теплотери ГСВК определяются как сумма теплотерь поверхности, дна и боковых частей:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пов}} + Q_{\text{дно}} + Q_{\text{бок}} \quad (3.3)$$

Теплотери через поверхности грунтовых СВК

$$Q_{\text{пов}} = K \cdot F \cdot \Delta t \quad (3.4)$$

$K = 1 / ((1/(\alpha_{\text{кон}1} + \alpha_{\text{изл}1})) + (\delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}}) + (1/(\alpha_{\text{кон}2} + \alpha_{\text{изл}2})))$  – коэффициент термического сопротивления;

Расчет теплообмена конвекцией между параллельными пластинами [6, 69]:  $\alpha_{\text{кон}1} = Nu (\lambda_{\text{воз}}/d)$ ;  $Nu = C(Gr \cdot Pr)^n$ ;

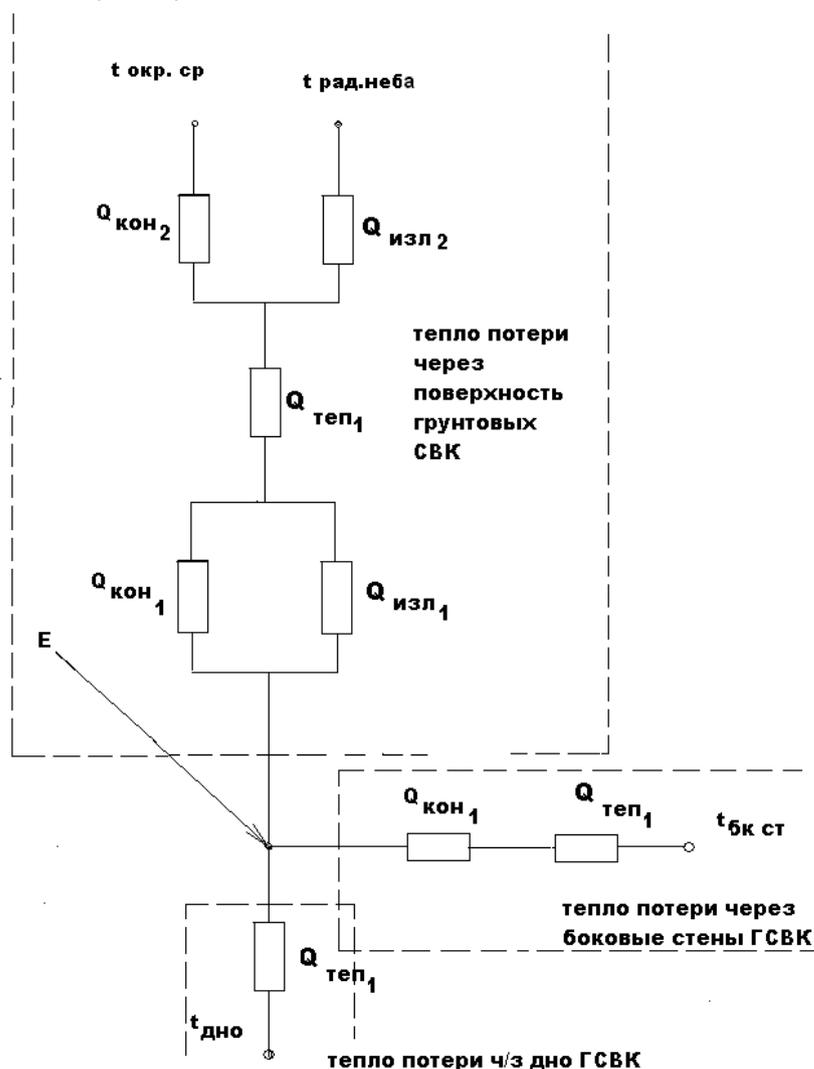


Рисунок 3.11. Тепловая схема грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов.

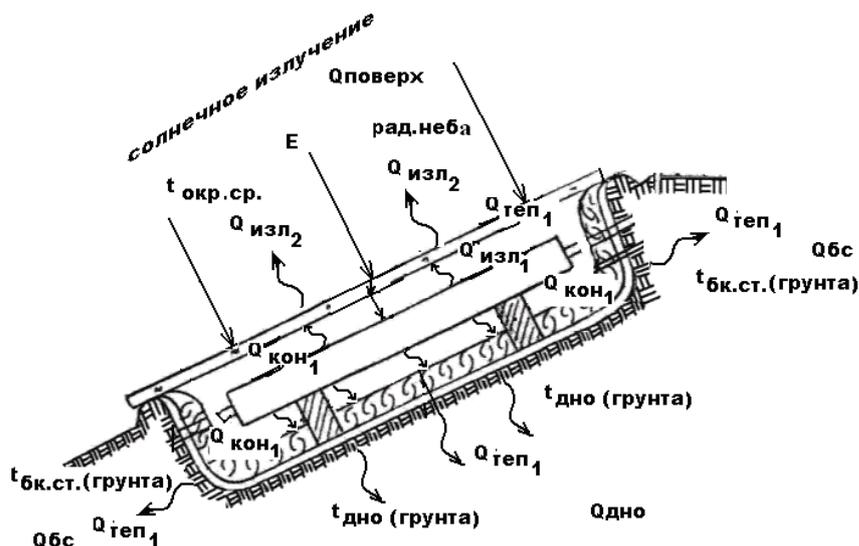


Рисунок 3.12. Тепловой баланс грунтового СВК.

$$Gr \cdot Pr = ((g (t_{т.п.} - t_{вн.ст.}) h^3 \cdot \beta_g) / \nu^2) Pr$$

Исходные данные:

$$t_{т.п.} = 76 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{вн.ст.} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (2004 \text{ г. } 10-12 \text{ июля, } 13^{00} \text{ часов})$$

$$\lambda_{воз} = 2,93 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м } \cdot \text{град};$$

$$\beta_g = 1/339,5 \text{ } 1/^\circ\text{C}; \quad h = 0,05 \text{ м}; \quad Pr = 0,69; \quad GrPr = 1,38 \cdot 10^5$$

$$\alpha_{кон1} = 6,0996 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град};$$

Расчет теплообмена излучением между двумя плоскими параллельными телами [6,69]:

$$q_1 = \varepsilon_{пр} C_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]; \quad \varepsilon_{пр} = 1 / (((1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2)) - 1) \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_1 = 0,92 \text{ – коэффициент черноты теплоприемника};$$

$$\varepsilon_2 = 0,94 \text{ – коэффициент черноты стекла};$$

$$T_1 = t_{т.п.} + 273; \quad T_2 = t_{вн.ст.} + 273; \quad C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot (\text{град})^4;$$

$$\alpha_{изл1} = q / (t_{т.п.} - t_{вн.ст.}) = 7,651 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град};$$

определив среднюю температуру наружной стенки стекла по формуле

$t_{нар.ст.} = (\lambda_{ст.} \cdot t_{вн.ст.} \cdot F - Q_{п.} \cdot \delta) / (\lambda_{ст.} \cdot F)$ , определяем теплообмен конвекцией в неограниченном пространстве, то есть в окружающей среде:

$$\alpha_{кон2} = Nu(\lambda_{воз}/L); \quad Nu = C(Gr \cdot Pr)^n;$$

$$Gr \cdot Pr = ((g (t_{нар.ст.} - t_{окр.ср.}) \cdot L^3 \cdot \beta_g) / \nu^2) Pr$$

$$t_{нар.ст.} = 53 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{окр.ср.} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (2004 \text{ г. } 10-12 \text{ июля, } 13^{00} \text{ часов})$$

$$\lambda_{\text{воз}} = 2,33 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{град};$$

$$\beta_{\Gamma} = 1/308, 1/^\circ\text{C}; h = 0,65 \text{ м}; Pr = 0,69; Gr \cdot Pr = 4,03 \cdot 10^8,$$

$$\alpha_{\text{кон2}} = 3,345 \text{ Вт/м}^2 \text{ град};$$

Расчет теплообмена излучением в неограниченном пространстве, то есть в окружающей среде:

$$q_2 = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]; \varepsilon_{\text{пр}} = 1 / (((1/\varepsilon_1) + (1/\varepsilon_2)) - 1)$$

$$C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot (\text{град})^4;$$

$$\varepsilon_1 = 0,94 \text{ - коэффициент черноты стекла [6];}$$

$$\varepsilon_2 = 0,9 \text{ - коэффициент черноты неба [6];}$$

$$T_1 = t_{\text{нар.ст.}} + 273; \quad T_2 = t_{\text{р.н.}} + 273; \quad t_{\text{р.н.}} = t_{\text{окр.ср.}} - 6;$$

$$C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot (\text{град})^4;$$

$$\alpha_{\text{изл2}} = q / t_{\text{нар.ст.}} - t_{\text{р.н.}} = 7,651 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

$$Q_{\text{поверх}} = K \cdot F \cdot \Delta t = 247,935 \text{ Вт}$$

Определяем теплотери через дно грунтовых СВК по формуле [6,69]:

$$Q_{\text{дно}} = K \cdot F (t_{\text{ср.воды}} - t_{\text{грунта}})$$

$$K = 1 / ((\delta_{\text{свк}}/\lambda_{\text{свк}}) + (\delta_{\text{сол}}/\lambda_{\text{сол}}) + (\delta_{\text{п.п.}}/\lambda_{\text{п.п.}}))$$

$$F = 1,0075 \text{ м}^2$$

$$\delta_{\text{свк}} = 0,013 \text{ м - толщина СВК};$$

$$\lambda_{\text{свк}} = 77 \text{ Вт/м} \cdot \text{град - теплопроводность железа (при } 20^\circ\text{C) [69];}$$

$$\delta_{\text{сол}} = 0,05 \text{ м - толщина теплоизоляции (солома);}$$

$$\lambda_{\text{сол}} = 0,103 \text{ Вт/м} \cdot \text{град - теплопроводность соломы [69];}$$

$$\delta_{\text{п.п.}} = 0,0002 \text{ м - толщина полиэтиленовой пленки};$$

$$\lambda_{\text{п.п.}} = 0,276 \text{ Вт/м} \cdot \text{град - теплопроводность полиэтиленовой пленки [69];}$$

$$t_{\text{ср.воды}} = 40 \text{ }^\circ\text{C - средняя температура воды; (10-12 июля, } 13^{00} \text{ часов)}$$

$$t_{\text{грунта}} = 29,9 \text{ }^\circ\text{C - средняя температура грунта дна}$$

$$(10-12 июля, } 13^{00} \text{ часов) [70];}$$

$$Q_{\text{дно}} = 21,57 \text{ Вт};$$

Для расчета общих теплотерь за сезон, используем исходные данные, приведенные в табл. 3.10. – 3.13.

Таблица 3.10.

### Исходные данные для расчета в апреле месяце

№	Местное время	Q, Вт/м <sup>2</sup>	t окр.ср., °С	t воды. вх., °С	t воды. вых., °С	t воз. в СВК, °С
1.	8 <sup>00</sup>	170	18	12	20	34
2.	10 <sup>00</sup>	280	20	15	28	38
3	12 <sup>00</sup>	480	22	17	46	52
3	14 <sup>00</sup>	560	24	17	48	56
4.	16 <sup>00</sup>	380	21	17	36	51
5.	18 <sup>00</sup>	200	19	15	28	44
6.	20 <sup>00</sup>	150	16	13	21	38

по справочным данным [71]

Средняя температура грунта на глубине 0,07 м - t = 15,5 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,09 м - t = 15,4 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,011 м - t = 15,1 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,13 м - t = 15,1 °С;

Таблица 3.11.

### Исходные данные для расчета в июле месяце

№	Местное время	Q, Вт/м <sup>2</sup>	t окр.ср., °С	t воды. вх., °С	t воды. вых., °С	t воз. в СВК, °С
1.	8 <sup>00</sup>	340	26	15	30	42
2.	10 <sup>00</sup>	580	30	16	58	60
3	12 <sup>00</sup>	790	35	18	62	66
3	14 <sup>00</sup>	820	38	18	66	70
4.	16 <sup>00</sup>	560	37	18	64	68
5.	18 <sup>00</sup>	320	36	17	54	63
6.	20 <sup>00</sup>	180	34	16	46	54

по справочным данным [71]

Средняя температура грунта на глубине 0,07 м - t = 31,4 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,09 м - t = 29,9 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,11 м - t = 29,6 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,13 м - t = 29,0 °С;

по справочным данным [71]

Средняя температура грунта на глубине 0,07 м - t = 23,7 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,09 м - t = 23,8 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,11 м - t = 23,9 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,13 м - t = 24,0 °С.

по справочным данным [71]

Средняя температура грунта на глубине 0,07 м - t = 15,4 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,09 м - t = 15,5 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,11 м - t = 15,9 °С;

Средняя температура грунта на глубине 0,13 м - t = 16,0 °С.

Таблица 3.12

Исходные данные для расчета в сентябре месяце

№	Местное время	Q, Вт/м <sup>2</sup>	t окр.ср., °С	t воды. вх., °С	t воды. вых., °С	t воз. в СВК, °С
1.	8 <sup>00</sup>	150	20	13	24	36
2.	10 <sup>00</sup>	310	25	14	38	47
3	12 <sup>00</sup>	620	29	16	52	60
3	14 <sup>00</sup>	680	30	17	54	68
4.	16 <sup>00</sup>	520	27	16	46	64
5.	18 <sup>00</sup>	210	22	15	38	54
6.	20 <sup>00</sup>	180	18	15	27	46

Таблица 3.13.

Исходные данные для расчета в октябре месяце

№	Местное время	Q, Вт/м <sup>2</sup>	t окр. ср., °С	t воды .вх., °С	t воды. вых., °С	t воз. в СВК, °С
1.	8 <sup>00</sup>	140	17	13	24	32
2.	10 <sup>00</sup>	280	20	14	28	36
3	12 <sup>00</sup>	420	24	15	50	54
3	14 <sup>00</sup>	540	24,5	16	50	56
4.	16 <sup>00</sup>	400	23	16	46	50
5.	18 <sup>00</sup>	210	20	15	36	46
6.	20 <sup>00</sup>	130	19	15	28	40

Для расчетов теплотерь составлена программа на языке QBASIC. Результаты расчетов теплотерь через различные части грунтовых СВК для апреля, июля, сентября и октября месяцев приведены на рис.3.13.- 3.20.

Расчеты проводились для четырех толщин теплоизоляционного настила. В качестве теплоизоляционных материалов использованы солома, камышит и пенопласт.

Теплопотери через боковые стены грунтовых СВК определяем следующими уравнениями:

$$Q_{bc} = (K_{кон} + K_{теп})F (t_{ср.воды} - t_{грунта})$$

Расчет конвективного теплообмена между двумя параллельными пластинами:

$$K = \alpha_{кон} = Nu(\lambda_{воз}/L); Nu = C(Gr \cdot Pr)^n;$$

$$Gr \cdot Pr = ((g (t_{сол} - t_{грунт.})h^3 \cdot \beta_r)/\nu^2) Pr$$

$t_{сол.} = 62 \text{ } ^\circ\text{C}$  – средняя температура соломы, температура соломы принимается на 5 % меньше температуры воздуха, внутри грунтовых СВК;

$t_{грунт} = 31,4 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура грунта на глубине 0,03 м.

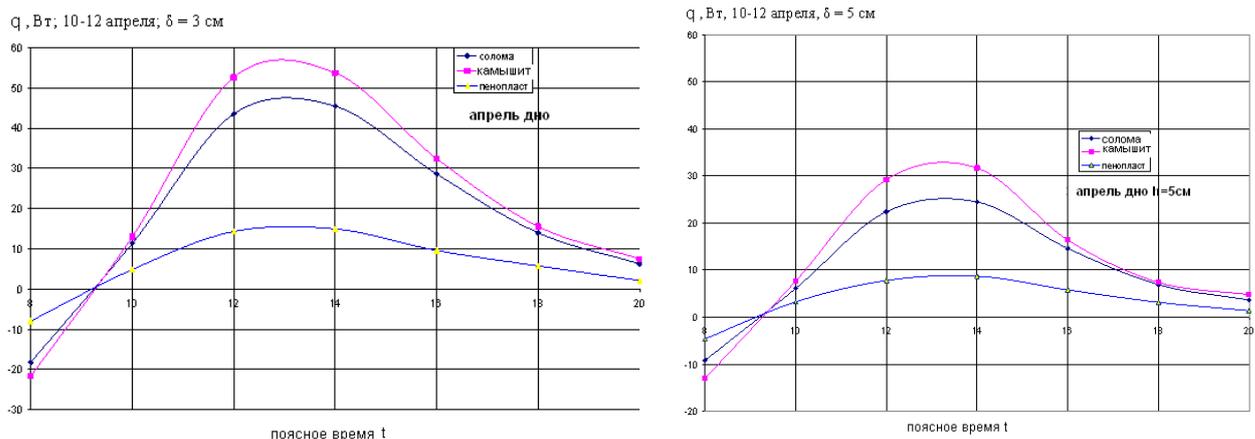


Рисунок 3.13. Теплотери через дно грунтовых СВК в апреле месяце,  $\delta = 0,03$  м,  $\delta = 0,05$  м.

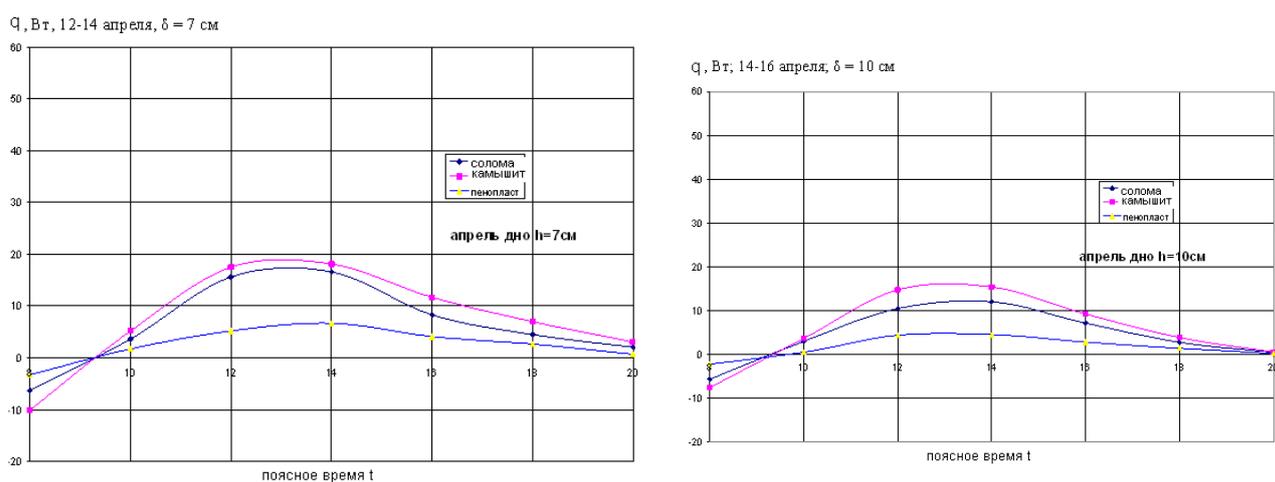


Рисунок 3.14. Теплотери через дно грунтовых СВК в апреле месяце,  $\delta = 0,07$  м,  $\delta = 0,10$  м.

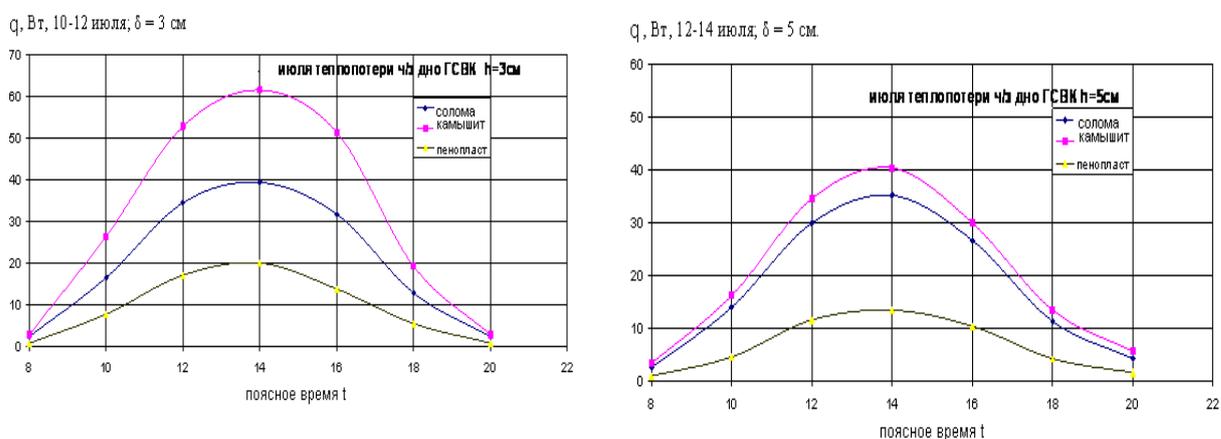
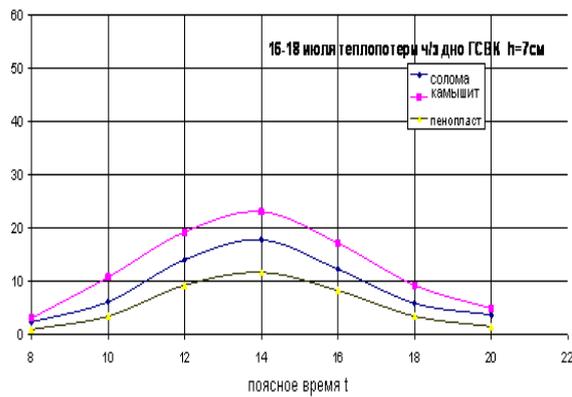


Рисунок 3.15. Теплотери через дно грунтовых СВК в июле месяце,  $\delta = 0,03$  м,  $0,05$  м.

Q, Вт, 16-18 июля,  $\delta = 7$  см



Q, Вт, 18-20 июля,  $\delta = 10$  см

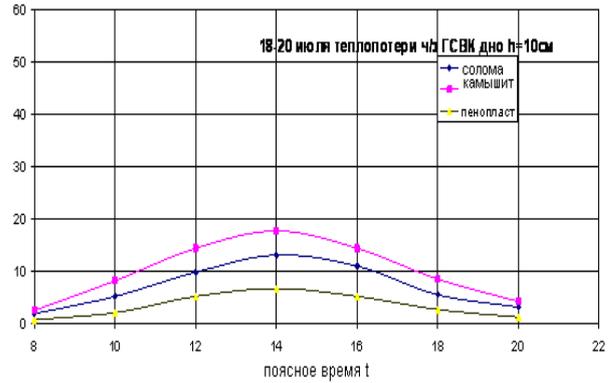
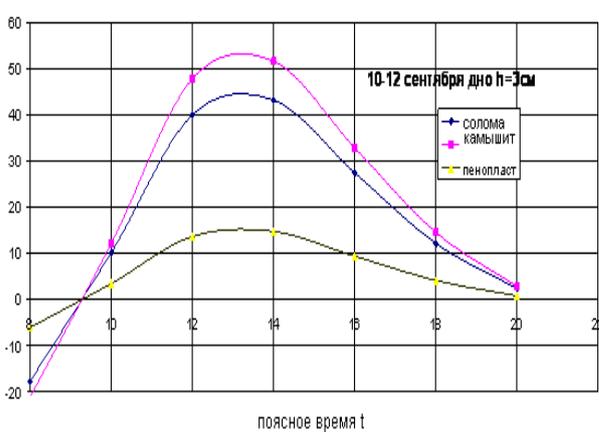


Рисунок 3.16. Теплотери через дно грунтовых СВК в июле месяце,  $\delta = 0,07$  м,  $\delta = 0,10$  м.

Q, Вт, 10-12 сентября,  $\delta = 3$  см



Q, Вт, 10-12 сентября,  $\delta = 5$  см

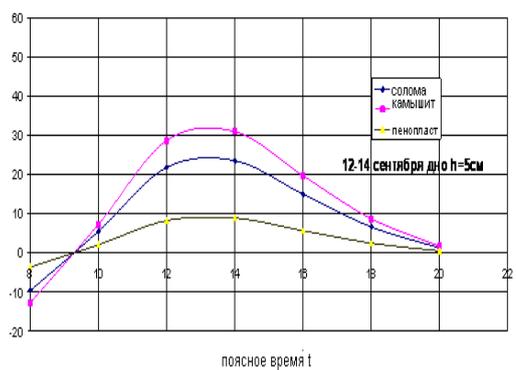
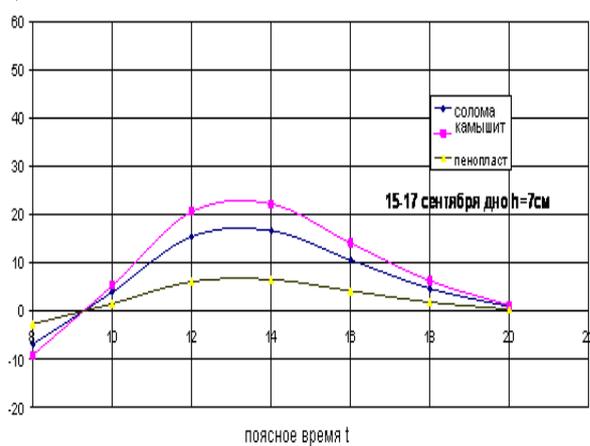


Рисунок 3.17. Теплотери через дно грунтовых СВК в сентябре месяце,  $\delta = 0,03$  м,  $\delta = 0,05$  м.

Q, Вт, 15-17 сентября,  $\delta = 7$  см



Q, Вт, 17-19 сентября,  $\delta = 10$  см

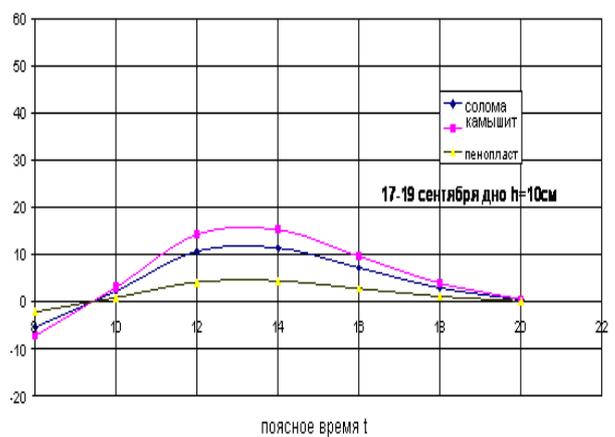
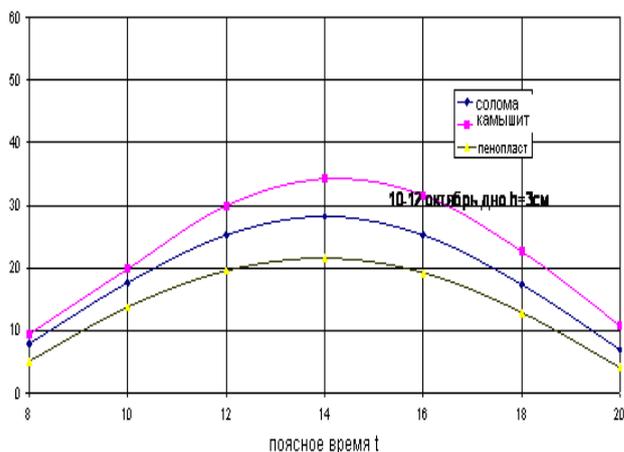


Рисунок 3.18. Теплотери через дно грунтовых СВК в сентябре месяце,  $\delta = 0,07$  м,  $\delta = 0,10$  м.

Q, Вт; 10-12 октября;  $\delta = 3$  см



Q, Вт; 12-14 октября;  $\delta = 5$  см

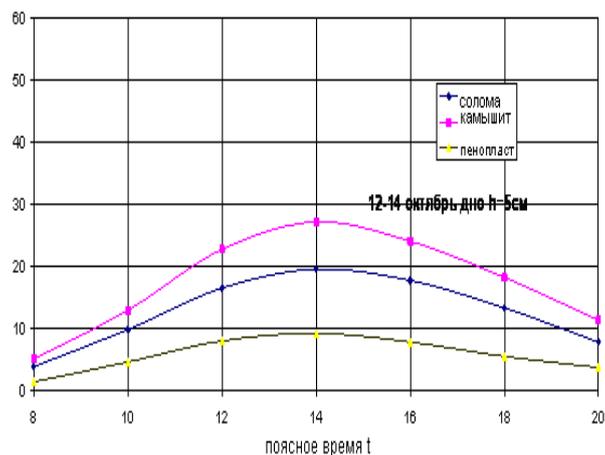
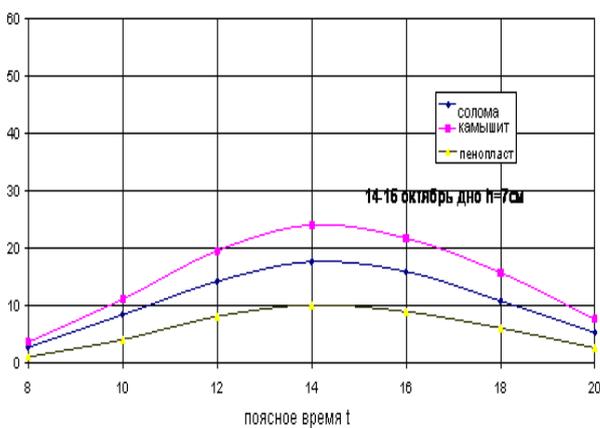


Рисунок 3.19. Теплотери через дно грунтовых СВК в октябре месяце,  $\delta = 0,03$  м,  $\delta = 0,05$  м.

Q, Вт; 14-16 октября;  $\delta = 7$  см



Q, Вт; 14-16 октября;  $\delta = 10$  см

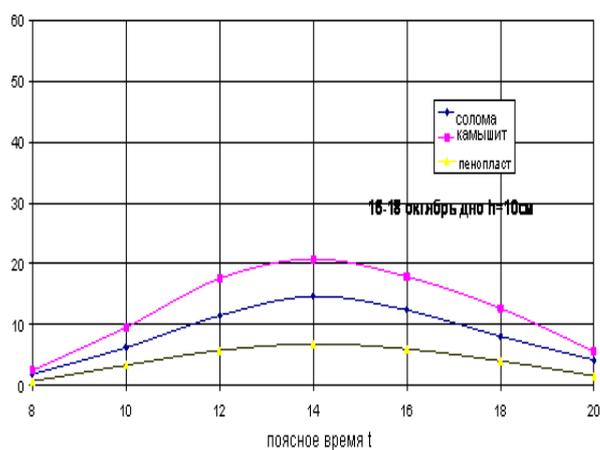


Рисунок 3.20. Теплотери через дно грунтовых СВК в октябре месяце,  $\delta = 0,07$  м,  $\delta = 0,10$  м.

$t_{\text{воз}} = 66$  °С – температура воздуха внутри грунтовых СВК (2008г.10-12 июля, 13<sup>00</sup> часов);

$$\lambda_{\text{воз}} = 2,935 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{град};$$

$$\beta_{\text{г}} = 1/339, 1/^\circ\text{C}; \nu = 19,5 \cdot 10^6 \text{ с}^2/\text{м}; h = 0,05 \text{ м}; Pr = 0,69; g=9,8 \text{ м/с}^2;$$

$$Gr \cdot Pr = 2,64 \cdot 10^4,$$

$K = 1 / ( (\delta_{\text{СВК}}/\lambda_{\text{СВК}}) + (\delta_{\text{сол}}/\lambda_{\text{сол}}) + (\delta_{\text{п.п.}}/\lambda_{\text{п.п.}}) )$  – коэффициент теплопроводности;

где  $\delta$  – толщина теплоизоляционного настила (солома).

$$K = \alpha_{\text{кон}} = 4,035 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град};$$

$$Q_{bc} = 58,99 \text{ Вт}$$

$$Q_{потерь} = 167,375 + 21,57 + 58,99 = 247,935 \text{ Вт}$$

На основе полученных данных составлена программа на языке

QBASIC и построены графики общих теплотерь грунтовых СВК. Результаты расчетов приведены на рис. 3.21 -3.24.

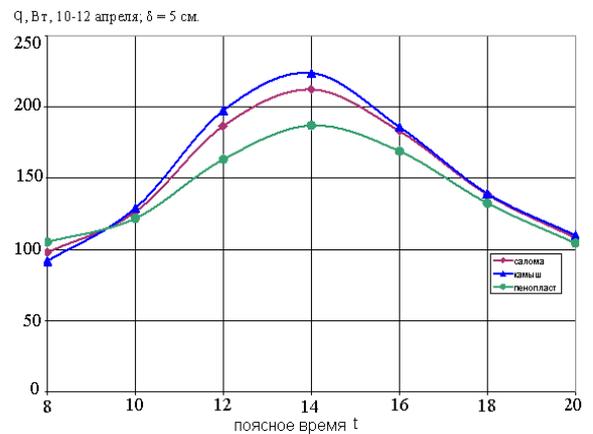
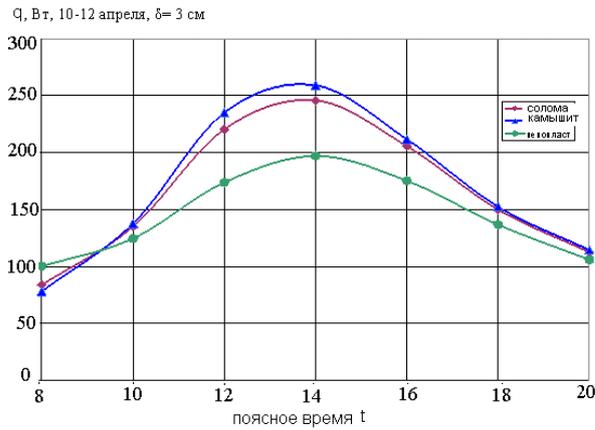


Рисунок 3.21. Общие теплотери грунтовых СВК в апреле месяце,  $\delta = 0,03 \text{ м}$ ,  $\delta = 0,05 \text{ м}$ .

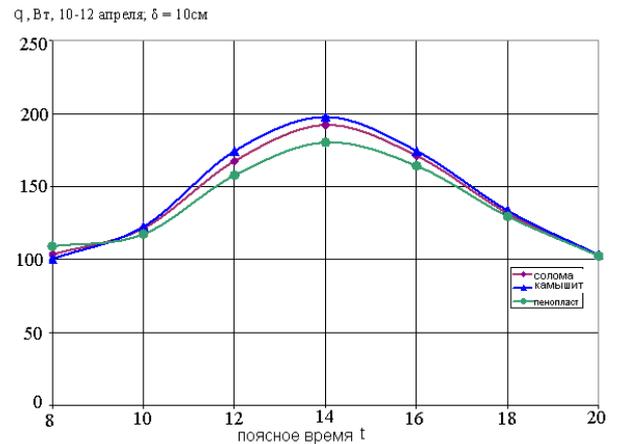
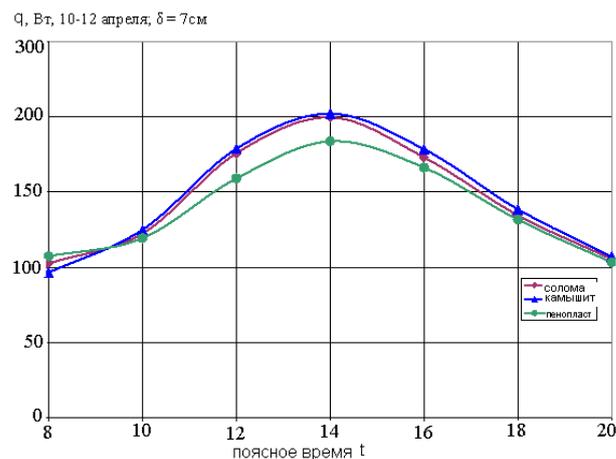
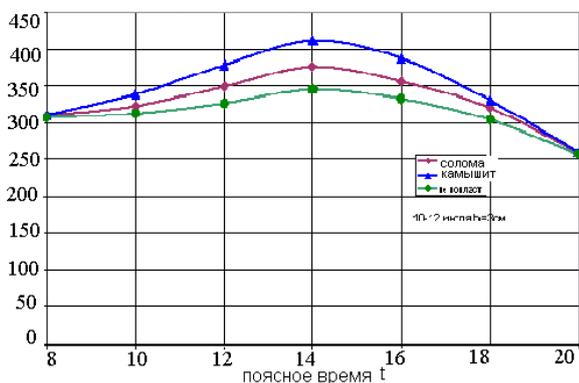


Рисунок 3.22. Общие теплотери грунтовых СВК в апреле месяце,  $\delta = 0,07 \text{ м}$ ,  $\delta = 0,10 \text{ м}$ .

q, Вт, 10-12 июля;  $\delta = 3\text{ см}$



q, Вт, 12-14 июля;  $\delta = 5\text{ см}$

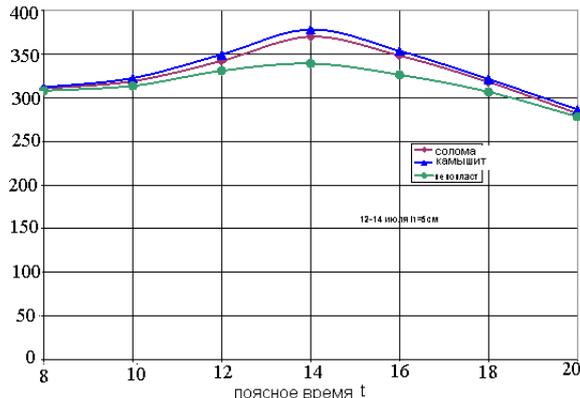
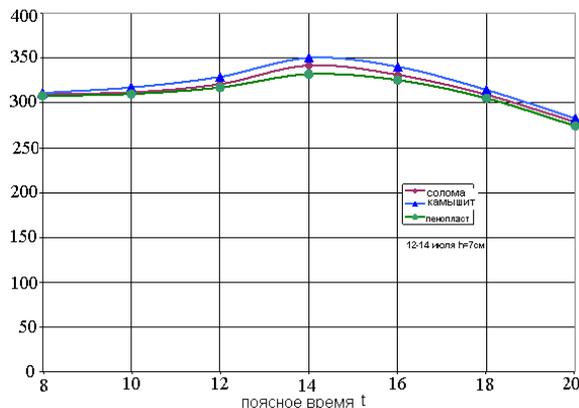


Рисунок 3.23. Общие теплотери грунтовых СВК в июле месяце,  
 $\delta = 0,03\text{ м}, \delta = 0,05\text{ м}.$

q, Вт, 12-14 июля;  $\delta = 7\text{ см}$



q, Вт, 12-14 июля;  $\delta = 10\text{ см}$

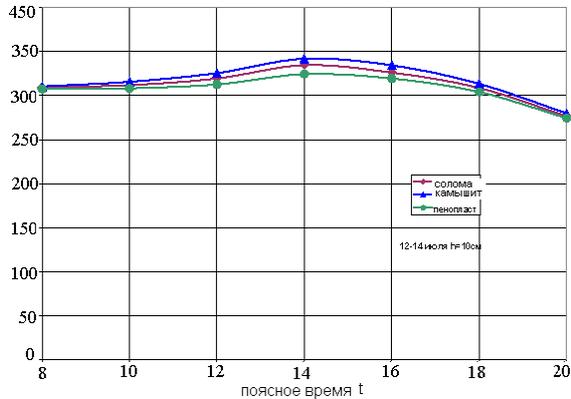
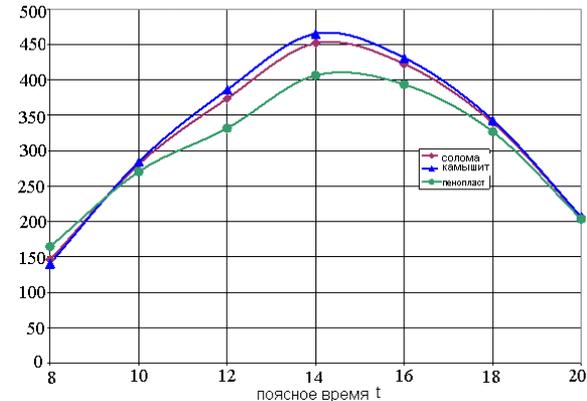


Рисунок 3.24. Общие теплотери грунтовых СВК в июле месяце,  
 $\delta = 0,07\text{ м}, \delta = 0,10\text{ м}.$

q, Вт, 12-14 сентября;  $\delta = 3\text{ см}$



q, Вт, 12-14 сентября;  $\delta = 5\text{ см}$

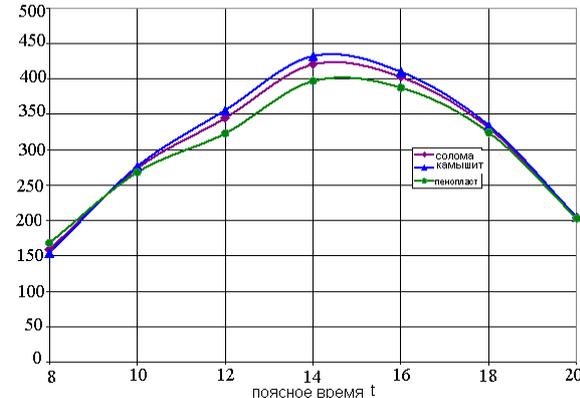


Рисунок 3.25. Общие теплотери грунтовых СВК в сентябре месяце,  
 $\delta = 0,03\text{ м}, \delta = 0,05\text{ м}.$

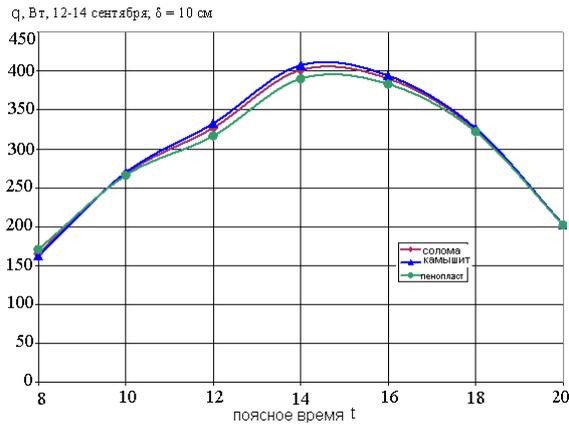
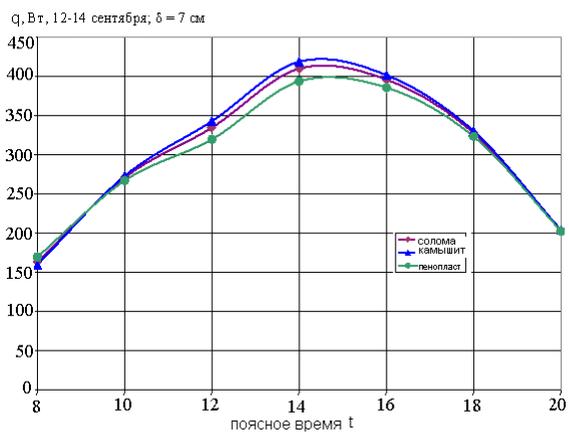


Рисунок 3.26. Общие теплопотери грунтовых СВК в сентябре месяце,  $\delta = 0,07$  м,  $\delta = 0,10$  м.

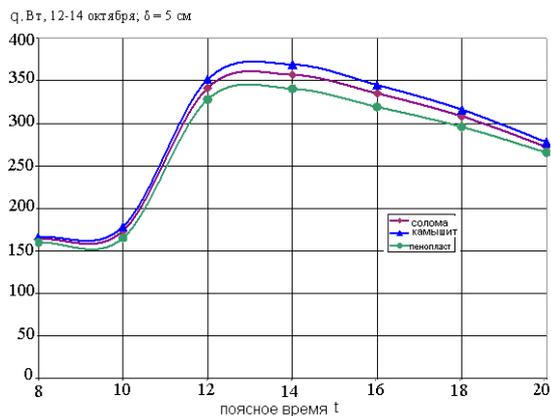
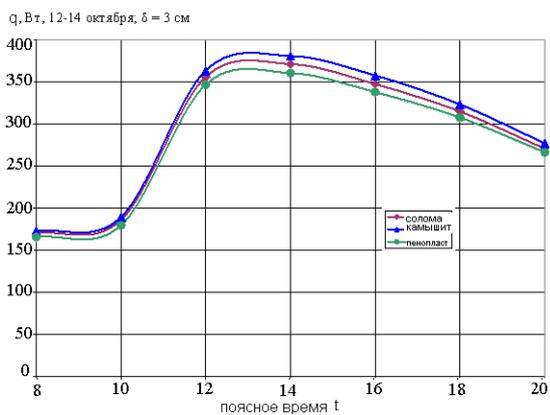


Рисунок 3.27. Общие теплопотери грунтовых СВК в октябре месяце,  $\delta = 0,03$  м,  $\delta = 0,05$  м.

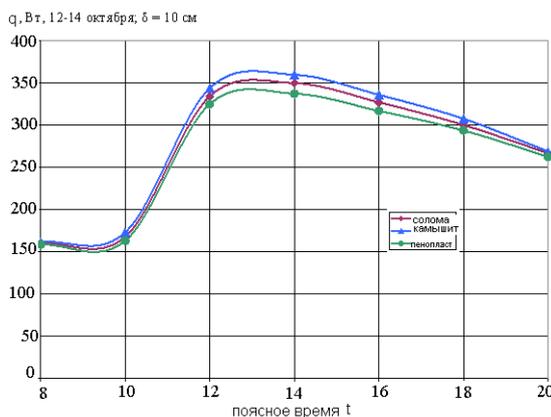
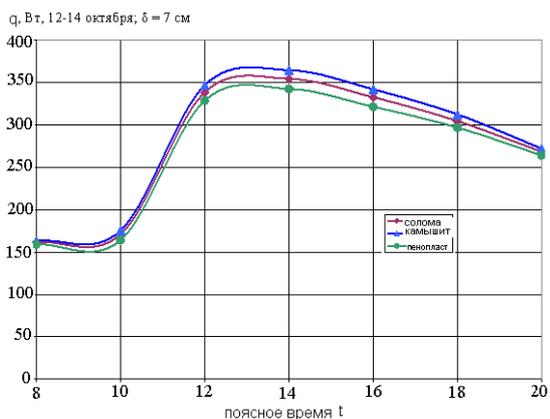


Рисунок 3.28. Общие теплопотери грунтовых СВК в октябре месяце,  $\delta = 0,07$  м,  $\delta = 0,10$  м.

На основе полученных в данном разделе результатов можно сделать следующие выводы:

1. В случае использования пенопластовой теплоизоляции теплотери СВК, располагаемых в грунте и на грунте, на 22,1 % и 5,2 % меньше теплотерь традиционного СВК с металлическим корпусом. В случае использования соломы эти параметры равны 22,4 % и 5,1 %, а в случае камышита – 24,5 % и 6,8 %. Это является следствием отсутствия конвективных теплотерь с боковых и донных частей СВК, расположенного в грунте.

2. При достаточной толщине теплоизоляционного материала влияние температуры грунта на режим работы ГСВК не сказывается.

3. Естественная тепловая волна, распространяющаяся во внутренние слои грунта, не оказывает существенного влияния на температуру грунта – дна ГСВК.

4. Запаздывание максимума температуры грунта под СВК незначительно и составляет 0,5 мин на глубине 0,03 м и 9,6 мин на глубине 0,30 м.

5. Коэффициенты полезного действия разработанных СВК в грунте и на грунте соответственно, на 5 % и на 3 % больше КПД традиционного СВК с металлическим корпусом.

Разработанные коллекторы с использованием в качестве конструктивного элемента грунт, имеют теплотехнические, эксплуатационные и экономические характеристики, не уступающие традиционным СВК, что дает основание создавать на их основе конкурентоспособные СВУ, которые могут успешно эксплуатироваться для получения горячей воды.

## ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ГРУНТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

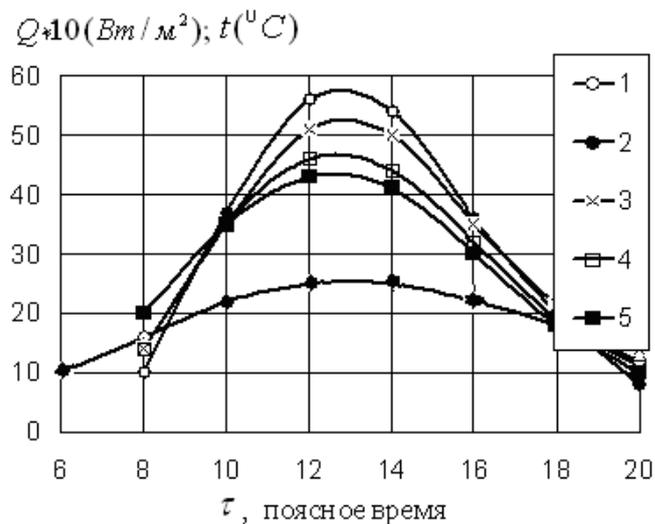
### *4.1. Исследование эксплуатационных характеристик грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов*

Экспериментальные исследования эксплуатационных характеристик разработанных ГСВК и СВУ проводились на полигоне научно-производственного центра «Альтерэнерго» Кыргызско-Узбекского университета с апреля по ноябрь месяц в течение ряда лет.

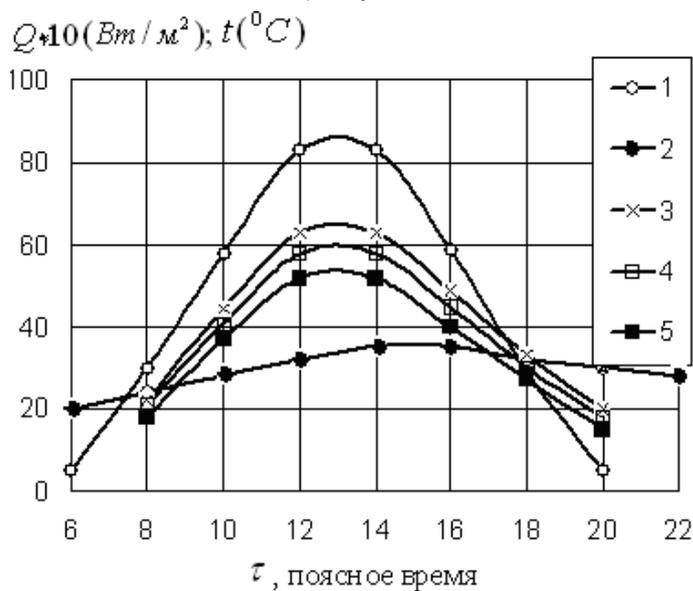
Для проведения сопоставительного анализа одновременно испытан традиционный СВК, имеющий корпус из листовой стали, и такой же плоский водонагревательный регистр, как у грунтовых СВК, теплоизолирующий слой из минераловаты и листовое остекление толщиной 0,005 м.

Во время испытаний для сравнения, в качестве прозрачного покрытия в одном варианте ГСВК использовано листовое оконное стекло толщиной 0,005 м, а в другом – полиэтиленовая пленка толщиной 0,002 м. Плоскость ямы – корпуса имеет уклон в  $35^{\circ}$  к горизонту и ориентацию на юг (или который имеет ориентацию на юг). В ходе экспериментов измерялись температура воды на входе и выходе из СВК, температура окружающего воздуха, плотность падающего на поверхность СВК суммарного солнечного излучения.

На рис. 4.1. и 4.2. для примера приведены результаты испытаний разработанных грунтовых и традиционных СВК для середины апреля, июля и ноября месяцев. Как видно из рисунков, наибольшей эффективностью обладает грунтовый СВК со стеклянным покрытием. При плотности солнечного излучения  $E_c=820 \text{ Вт/м}^2$  температура воды на выходе составила  $t_{\text{вых}} = 62 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (при температуре воды на входе СВК  $t_{\text{вх}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и расходе  $G=1,6 \text{ мл/с}$ ).



а) апрель



б) июль

1- плотность солнечной радиации;

Температуры:

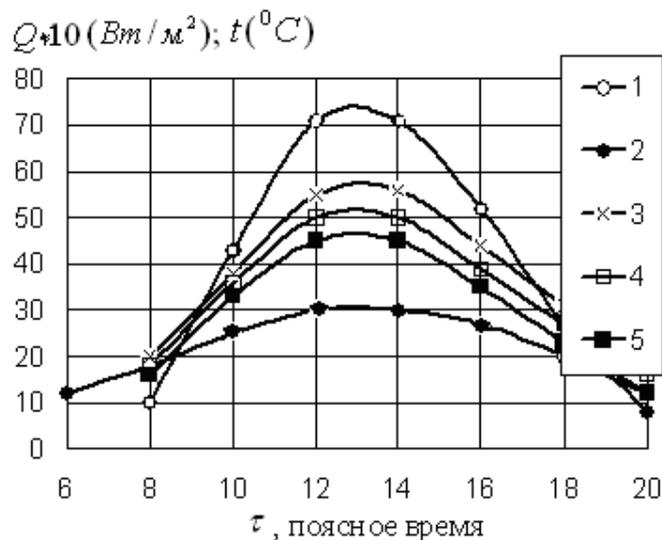
2-окружающего воздуха;

3-воды на выходе из грунтового СВК со стеклянным покрытием;

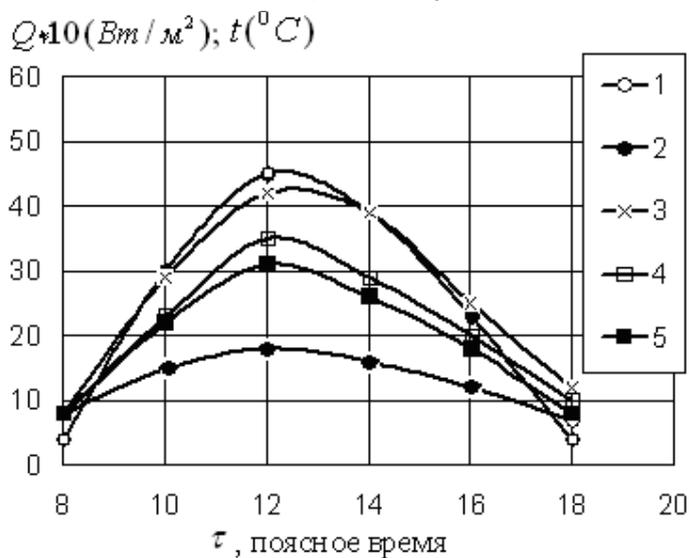
4- воды на выходе из традиционного СВК;

5- воды на выходе из грунтового СВК с полиэтиленовым покрытием

Рисунок 4.1. Зависимость температуры воды от плотности солнечного излучения.



а) сентябрь



б) ноябрь

1- плотность солнечной радиации;

Температуры:

2-окружающего воздуха;

3-воды на выходе из грунтового СВК со стеклянным покрытием;

4- воды на выходе из традиционного СВК;

5- воды на выходе из грунтового СВК с полиэтиленовым покрытием

Рисунок 4.2. Зависимость температуры воды от плотности солнечного излучения.

Для грунтовых СВК с полиэтиленовым покрытием при плотностях солнечного излучения 820 и 400 Вт/м<sup>2</sup> соответственно температура воды на выходе составила 54 и 38 °С, а КПД имел значения равные 40 и 45 %.

Результаты испытаний показывают, что температура воды на выходе грунтовых СВК с полиэтиленовым покрытием примерно на 6-8 °С ниже, чем у традиционных СВК, что объясняется несколько большими их теплопотерями, чем у ГСВК со стеклянным покрытием. Относительно производительности и КПД, разработанные грунтовые СВК не уступают традиционным солнечным водонагревательным коллекторам.

На рисунке 4.3. приведена зависимость КПД испытываемых СВК от плотности солнечного излучения.

Как видно из рисунка, КПД грунтовых СВК со стеклянным покрытием в среднем на 7-10 % выше, а с полиэтиленовым покрытием на 3-5 % ниже КПД традиционных СВК, что можно объяснить меньшими теплопотерями грунтовых СВК, чем у традиционных, и меньшим светопропусканием полиэтиленовой пленки и большими теплопотерями по сравнению с СВК со стеклянным покрытием.

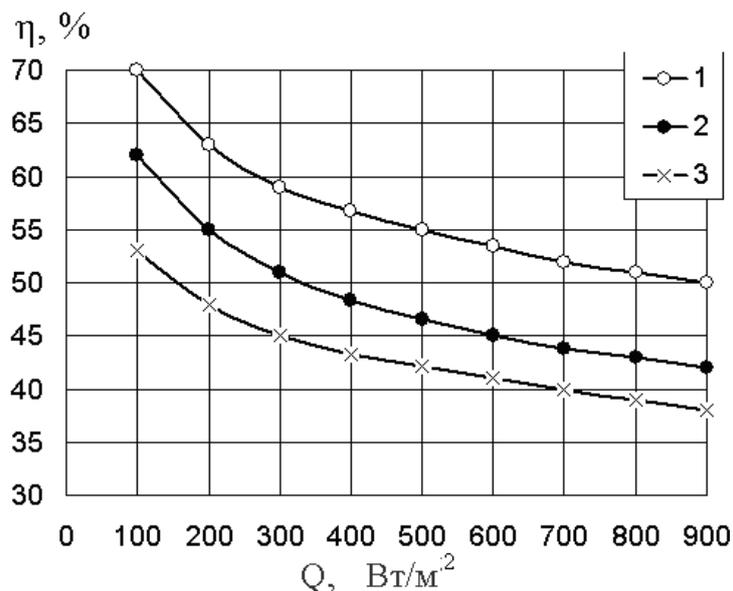
#### ***4.2. Разработка солнечных водонагревательных установок на основе грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов***

Для устройства СВУ на основе ГСВК целесообразно выбрать рельеф со склоном, ориентированным на юг.

Схема выполнения СВУ на основе разработанных грунтовых СВК показана на рисунке 4.4.

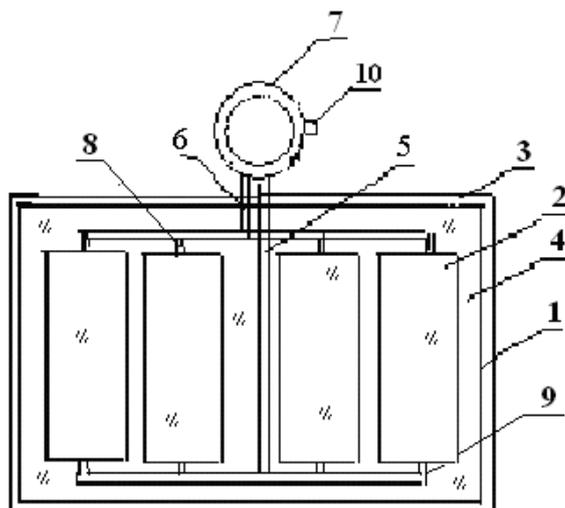
Общий вид солнечной водонагревательной установки показан на рис.4.5. (для наглядности фотографии сделаны без теплоизоляции циркуляционных трубопроводов и бака-аккумулятора СВУ). Необходимое количество тепловоспринимающих водонагревательных панелей укладывают в корпусе – яме, который затем закрывают стеклянным покрытием. Панели с обеих сторон соединяются в общие коллекторы 6 с помощью шланга или резиновых муфт. Бак-аккумулятор 7 СВУ устанавливается на определенной высоте для создания необходимого гидравлического затвора, (препятствующего обратной циркуляции воды в системе СВУ). Бак-аккумулятор и коллекторы соединяются между собой гибкими шлангами 8 и 9, укладываемыми в теплоизолированном виде в каналах, сделанных в грунте. Для отбора горячей воды в баке-аккумуляторе имеется сливная труба 10.

СВУ на основе коллекторов, располагаемых на грунте (второй тип СВК), также имеет аналогичное устройство.



- 1- КПД грунтового СВК со стеклянным покрытием;
- 2- КПД традиционного СВК;
- 3- КПД грунтового СВК с полиэтиленовым покрытием.

Рисунок 4.3. Зависимость КПД ГСВК от плотности солнечного излучения.



- 1 – общая яма, 2- абсорбер, 3- стекло, 4- теплоизолирующий настил, 5- труба для холодной воды, 6- труба для горячей воды, 7- бак-аккумулятор, 8 и 9 гибкие шланги, 10 – сливная труба

Рисунок 4.4. Схема водонагревательной установки на основе солнечных грунтовых водонагревательных коллекторов (план).



Рисунок 4.5. Общий вид солнечной водонагревательной установки.

Необходимо отметить, что для устройства СВУ на основе предлагаемых ГСВК требуется минимум материалов и трудовых затрат. Здесь нет необходимости устраивать традиционный для СВУ пространственный несущий каркас для монтажа СВК и бака-аккумулятора. С этой точки зрения, предлагаемые СВУ удобны при транспортировке, сборке и эксплуатации в полевых и пастбищных условиях.

Таким образом, предлагаемые СВУ транспортабельны, легки, имеют меньшую стоимость, чем традиционные СВУ.

### ***4.3. Экспериментальные исследования эксплуатационных характеристик СВУ***

В ходе эксперимента измерялись температура воды на входе и выходе из СВК, в середине бака-аккумулятора, температура окружающего воздуха, плотность суммарной солнечной радиации, падающей на поверхность СВК.

В зависимости от рельефа местности коллекторы могут иметь различный угол наклона относительно горизонтальной поверхности.

Для проведения сравнительного анализа одновременно испытана СВУ на основе традиционных СВК, имеющих корпус из листовой стали, такой же плоский водонагревательный регистр, как у грунтовых СВК, теплоизолирующий слой из минераловаты и листовое остекление толщиной 0,005 м. Бак-аккумулятор имел ту же

емкость, что и СВУ с грунтовыми СВК -200 литров. Все узлы СВК установлены на несущем металлическом каркасе.

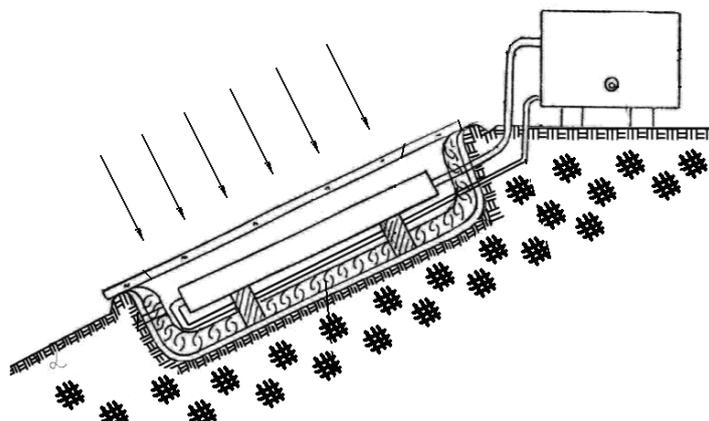
Площади приемной поверхности СВК во всех испытаниях СВУ были одинаковыми и равнялись 3,6 м<sup>2</sup>.

На рис.4.6. а и б показано устройство СВУ на основе грунтовых СВК под естественным уклоном и на горизонтальном грунте.

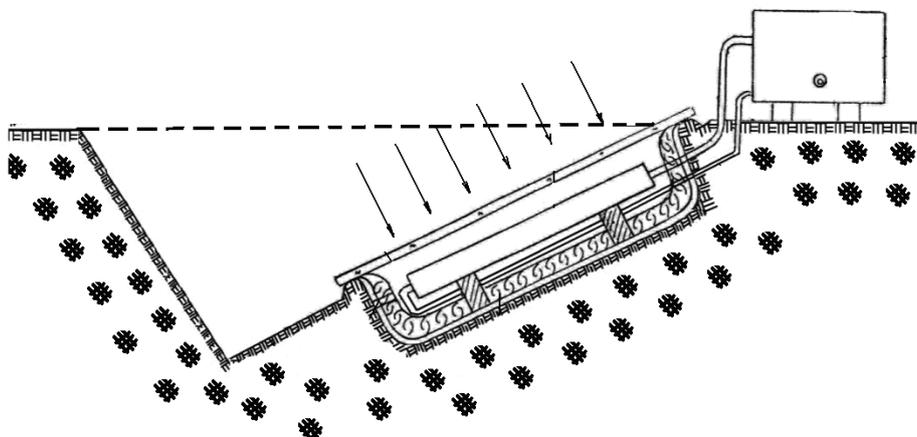
На рисунке 4.7 приведены зависимости температуры воды в середине бака-аккумулятора СВУ от плотности солнечной радиации в различное время года: в середине апреля, в середине июля, в середине сентября и в середине ноября. Как видно из рисунка, СВУ, собранная на основе грунтовых СВК, со стеклянным покрытием обладает наибольшей эффективностью при плотностях 830 (в июле) и 560 (в апреле) Вт/м<sup>2</sup>. Температура воды в баке-аккумуляторе составила 86 °С и 52 °С – соответственно. Для СВУ на основе грунтовых СВК с полиэтиленовым покрытием при плотности 830 (в июле) и 560 (в апреле) Вт/м<sup>2</sup> температура воды в баке-аккумуляторе составила 78 °С и 44 °С соответственно. Для СВУ на основе традиционных СВК температура воды в баке-аккумуляторе при плотности 830 и 560 Вт/м<sup>2</sup> составила 81 °С и 47 °С соответственно.

Результаты испытаний показывают, что температура воды в баке-аккумуляторе СВУ на основе грунтовых СВК со стеклянным покрытием на 5-7 % выше, а с полиэтиленовым покрытием на 3-4 % ниже температуры воды в СВУ на основе традиционных СВК, что можно объяснить меньшими теплотерями СВУ на основе грунтовых СВК, чем у традиционных, и меньшим светопропусканием полиэтиленовой пленки по сравнению со стеклом.

Эксплуатационные испытания разработанных СВУ в течение двух лет показали, что СВК желательно оградить легкой конструкцией – ветками или сеткой, во избежание случайного попадания предметов или нашествия животных.

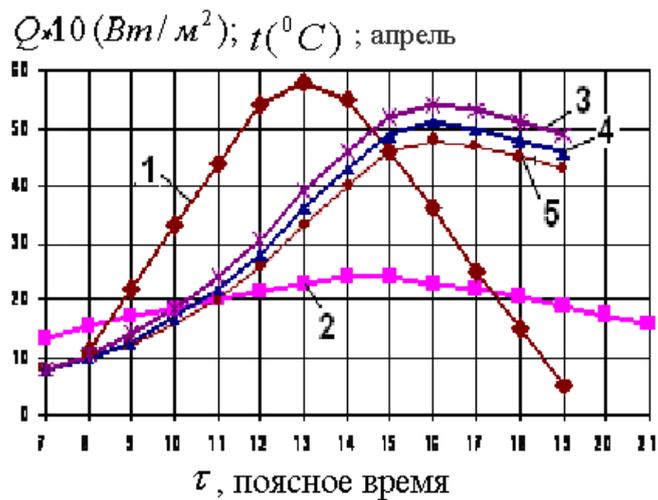


а) устройство СВУ на грунте с естественным уклоном

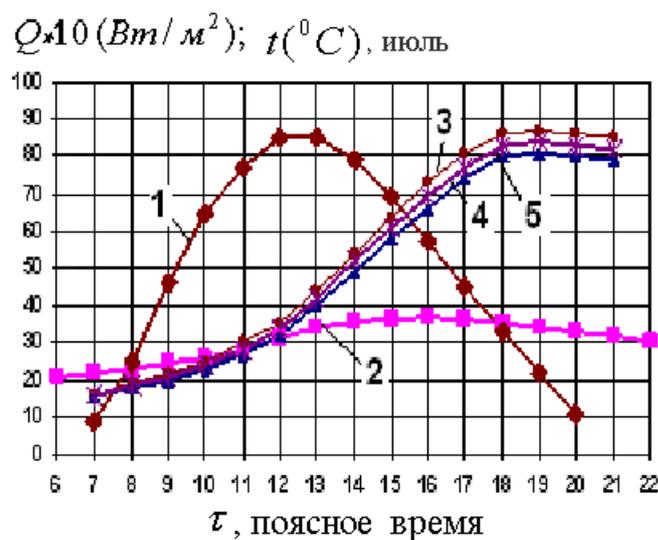


б) устройство СВУ на грунте с горизонтальной поверхностью

Рисунок 4.6. Устройство СВУ на грунте с естественным уклоном и на грунте с горизонтальной поверхностью.



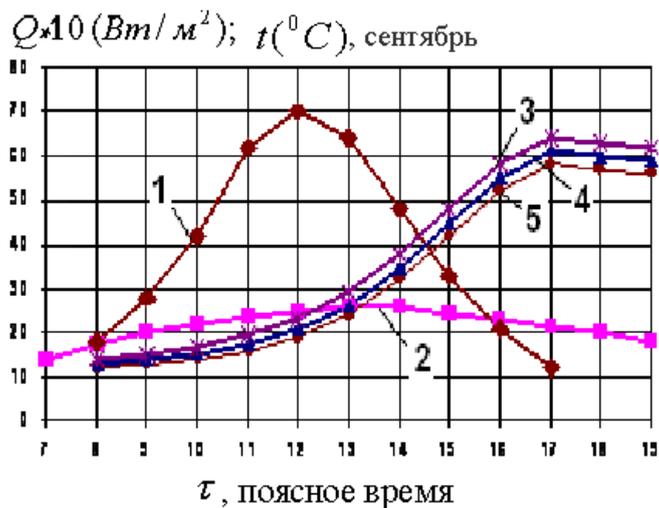
а) апрель



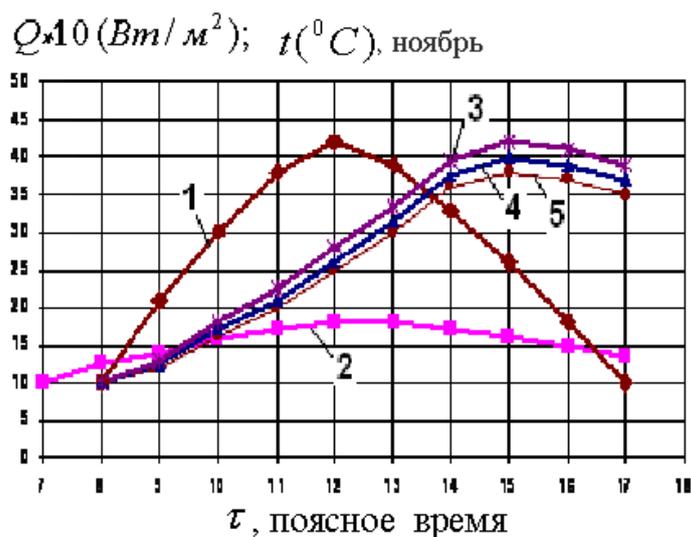
б) июль

- 1- плотность солнечной радиации;
- 2- температура окружающей среды;
- Температуры воды в середине бака-аккумулятора:
- 3- СВУ на основе грунтового СВК со стеклянным покрытием;
- 4 - СВУ на основе традиционных СВК;
- 5 - СВУ на основе грунтового СВК с полиэтиленовым покрытием.

Рисунок 4.7. Зависимость температуры воды от плотности солнечного излучения.



а) сентябрь



б) ноябрь

1- плотность солнечного излучения;

2- температура окружающей среды;

Температуры воды в середине бака-аккумулятора:

3- СВУ на основе грунтового СВК со стеклянным покрытием;

4-СВУ на основе традиционных СВК;

5-СВУ на основе грунтового СВК с полиэтиленовым покрытием.

Рисунок 4.8. Зависимость температуры воды от плотности солнечного излучения.

#### ***4.4. Исследование технико-экономических показателей солнечных водонагревательных установок на основе грунтовых коллекторов***

Нами проведено исследование технико-экономических показателей разработанных СВУ и их сравнение с аналогичными показателями традиционных СВУ.

Расходы на изготовление разработанной СВУ на основе ГСВК в грунте, имеют следующие составляющие (цены на 01.05.2010г.):

- пленка полиэтиленовая – 6 м<sup>2</sup> – \$ 1,3;
- теплоизоляционный настил (сухая солома) – бесплатно;
- тепловоспринимающий регистр – 4 штук \* \$ 10,75 = \$ 43,5;
- остекление – 5,2 м<sup>2</sup> – \$ 21,7;
- бак- аккумулятор (объемом 200 л)– 1 шт.- \$ 21,7;
- соединительные резиновые шланги - 4м \* \$ 0,86 = \$ 3,44;
- металлические трубопроводы диаметрами 15 и 25 мм с общей длиной 5,5 метров – \$ 4,4;
- стоимость изготовления СВУ – \$ 21,7

Таким образом, общая стоимость СВУ на основе ГСВК в грунте составляет \$ 120.

Экономический эффект от внедрения установки определим по формуле, разработанной в работе [72]:

$$\Theta = ((C_t - C_p) \cdot P \cdot t - [(Z_p + A_p \cdot L_p) / L_p - (Z_t + A_t \cdot L_t) / L_t])$$

где  $C_t$  - стоимость тепловой энергии полученной из сети за 1 кВт - 70 тыйын \$ 0,15 (по Кыргызстану);

$C_p$  – стоимость тепловой энергии полученной из СВУ,  $C_p = 0$ ;

$t$  - количество месяцев работы – 7 месяцев с апреля по октябрь = 210 дней;

$A_p$  и  $A_t$  – соответственно годовые амортизационные отчисления при эксплуатации разработанной и традиционной установок;

$Z_p$  и  $Z_t$  –соответственно затраты на изготовление разработанной \$ 120,13 и традиционной установки \$ 218,39;

$P$  – месячная производительность разработанной СВУ;

$L_p$  и  $L_t$  – ожидаемые сроки службы, разработанной и традиционной установок (примем, равным 10 лет).

Амортизационные отчисления:

Годовые амортизационные отчисления при эксплуатации разработанной и традиционной установок составляют около 2 % от стоимости установки:

$$A_p = 2 \% \cdot C = \$ 120,13 \cdot 0,02 = \$ 22,82$$

Стоимость традиционной установки составляет  $\approx$  \$ 218,39

$$A_t = 2 \% \cdot C = \$ 218,39 \cdot 0,02 = \$ 43,35$$

Производительность:

При условии, что СВУ будет работать ежедневно в течении 7 месяцев и производить 200 л/день,

$$Q_{\text{полез.}} = 200 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 30 = 25200 \text{ кДж}$$

$$P = (Q_{\text{полез.}} / 3600) \cdot 1,05 = 7,35 \text{ кВт} \cdot \text{час},$$

то в этом случае экономический эффект от использования солнечной водонагревательной установки равен

$$\Delta = ((C_t - C_p) \cdot P \cdot t - [(3r + A_p \cdot L_p) / L_p - (3t + A_t \cdot L_t) / L_t]) =$$

$$(\$ 0,15 - 0) \cdot 7,35 \cdot 210 - [(\$ 120,13 + (\$ 22,82 \cdot 10)) / 10 - (\$ 218,39 + (\$ 4,3 \cdot 10)) / 10] = \$ 23,23 - (\$ 14,22 - \$ 25,8) = \$ 23,23 + \$ 11,59 = \$ 34,8$$

$$\text{Срок окупаемости: } T = K / \Delta$$

Применительно к установкам на НВИЭ эту формулу можно представить как  $T = K / \Delta$ , где  $K$  – отпускная цена разработанной установки – \$ 120,13,  $\Delta$  – годовой экономический эффект от ее использования – \$ 34,8.

$$T = \$ 120,13 / \$ 34,8 = 3,45 \text{ года}$$

Срок окупаемости СВУ составляет 3,4 года.

СВУ на основе ГСВК в грунте с полиэтиленовым покрытием \$ 97,33 + \$ 1,29 = \$ 98,69

амортизационные отчисления – \$ 19,7

$$\Delta = ((C_t - C_p) \cdot P \cdot t - [(3r + A_p \cdot L_p) / L_p - (3t + A_t \cdot L_t) / L_t]) =$$

$$(\$ 0,15 - 0) \cdot 7,35 \cdot 210 - [(\$ 98,69 + (\$ 1,97 \cdot 10)) / 10 - (\$ 22,82 + (\$ 4,3 \cdot 10)) / 10] = \$ 23,23 - (\$ 11,8 - \$ 25,8) = \$ 23,23 + 13,97 = \$ 37,2$$

$$T = \$ 98,69 / \$ 37,2 = 2,65 \text{ года.}$$

Расходы на изготовление разработанной СВУ на основе ГСВК на грунте: определяем расходы на ГСВК на грунте:

- разборные деревянные доски шириной 0,10 м, толщиной 0,025 м, и длиной 1,3 м на сумму \$ 3,2;

- крепежные элементы в виде металлических полосок с отверстиями ( стоимость 1 штуки \$ 0,32, на 1 коллектор необходимо 8 штук, общая сумма- \$ 2,6);

- гайки – 4 штуки – \$ 0,54, на один коллектор – \$ 2,2;

- опорные винты – 4 штуки (1 штука – \$ 1,07), - на один коллектор \$ 4,3;

- стекло размером 0,60 x 1,3 = 0,78 м<sup>2</sup>, 1 м<sup>2</sup> – \$ 6,5;

- полиэтиленовая пленка – 1 м<sup>2</sup> – \$ 0,3;

- тепловоспринимающий панель – абсорбер – 1 штука – \$ 10,8;

- сумма расходов на ГСВК на грунте составляет – \$ 30.

Для сбора СВУ производительностью 200 литров, необходимо 4 штуки ГСВК – \$ 119,13, бак-аккумулятор – \$ 21,6 и 6 метров резинового шланга (1 метр – \$ 1,07) – \$ 6,5.

Стоимость СВУ на основе СВК на грунте составляет \$ 148.

Годовые амортизационные отчисления при эксплуатации:

$$A_p = 2 \% \cdot C = \$ 148 \cdot 0,02 = \$ 2,96$$

Исходя из полученных результатов рассчитываем экономический эффект от использования солнечной водонагревательной установки на основе ГСВК на грунте:

$$\Theta = ((C_t - C_p) \cdot P \cdot t - [(3p + A_p \cdot L_p) / L_p - (3t + A_t \cdot L_t) / L_t]) =$$

$$(\$ 0,15 - 0) \cdot 7,35 \cdot 210 - [(\$ 148 + (\$ 2,96 \cdot 10)) / 10 - (\$ 218,39 + (\$ 4,3 \cdot 10)) / 10] = \$ 23,23 - (\$ 17,69 - \$ 25,8) = \$ 23,23 + \$ 8,16 = \$ 31,39$$

Срок окупаемости определим по формуле:

$$T = \$ 148 / \$ 31,39 = 4,7 \text{ года.}$$

Стоимость СВУ на основе ГСВК на грунте с полиэтиленовым покрытием

$$\$ 125,59 + \$ 1,29 = \$ 126,8$$

амортизационные отчисления – \$ 2,53;

$$\Theta = ((C_t - C_p) \cdot P \cdot t - [(3p + A_p \cdot L_p) / L_p - (3t + A_t \cdot L_t) / L_t]) =$$

$$(\$ 0,15 - 0) \cdot 7,35 \cdot 210 - [(\$ 126,88 + (\$ 2,53 \cdot 10)) / 10 - (\$ 218,39 + (\$ 4,3 \cdot 10)) / 10] = \$ 23,23 - (\$ 15,05 - \$ 25,8) = \$ 23,23 + \$ 10,75 = \$ 33,98$$

$$T = \$ 126,88 / \$ 33,98 = 3,73 \text{ года.}$$

Расходы на изготовление СВУ на основе традиционных СВК:

- СВК - 1 штука – \$ 38,9 для СВУ производительностью 200 литров необходимо 4 штуки СВК – \$ 151,5;

- бак – аккумулятор 200 литров – \$ 21,6;

- для соединения СВУ с баком – аккумулятором необходимо 9 метров трубопроводов  $d = 25$  мм, 1 м – \$ 0,96,  $9 \times \$ 0,96 = \$ 8,8$ ;

- для каркаса для удержания СВУ, используем угольник металлический

У– 32 мм – 1 м – \$ 0,43, для удержания СВУ необходимо  $10,95 \text{ кг/м}^2$  – \$ 13;

- для изготовления – \$ 21,6.

Стоимость СВУ на основе традиционных СВК = \$ 216,5.

Рассчитываем экономический эффект от использования СВУ на основе традиционных СВК:

$$\Theta = ((C_t - C_p) \cdot P \cdot t + [(3t + A_t \cdot L_t) / L_t]) =$$

$$((\$ 0,15 - 0) \cdot 7,35 \cdot 210) + [(\$ 218,39 + (\$ 4,3 \cdot 10)) / 10] = \$ 23,23 + \$ 25,8 = \$ 49,03$$

$$T = \$ 216,5 / \$ 49,03 = 4,38 \text{ года.}$$

СВУ на основе традиционных СВК с полиэтиленовым покрытием \$ 218,39 - \$ 21,5 = \$ 193,54 + \$ 1,29 = \$ 196,96.

амортизационные отчисления – \$ 39,39

$$\Theta = (C_t - C_p) \cdot P \cdot t + [(3t + A_t \cdot L_t) / L_t] =$$

$$((\$ 0,15 - 0) \cdot 7,35 \cdot 210) + [(\$ 218,39 + (\$ 4,3 \cdot 10)) / 10] = \$ 23,23 + \$ 23,38 = \$ 46,61$$

$$T = \$ 196,96 / \$ 46,61 = 4,22 \text{ года.}$$

Итак, по результатам расчетов общая стоимость затрат для приготовления горячей воды объемом 200 литров ежедневно на разработанной СВУ на основе ГСВК в грунте (со стеклянным покрытием) в течении года составляет  $S_{\text{раз}} = \$ 118,8$ .

На основе полученных данных рассчитаны сроки окупаемости предлагаемой СВУ, которые составляют 3,4 года.

В таблице 4.1. приведены стоимости, годовой экономический эффект и сроки окупаемости разработанных и традиционных СВУ.

Таблица 4.1

Стоимость, годовой экономический эффект и сроки окупаемости разработанных и традиционных СВУ

№ п.п.	Вид СВУ	Стоимость (\$ ) США	Годовой экономический эффект, (\$ ) США	Срок окупаемости, лет
1.	СВУ с грунтовым СВК со стеклянным покрытием	\$118,8	\$ 34,8	3,4
2.	СВУ с грунтовым СВК с полиэтиленовым покрытием	\$ 98,6	\$ 37,2	2,6
3.	СВУ с СВК на грунте со стеклянным покрытием	\$ 147,1	\$ 31,4	4,6
4.	СВУ с СВК на грунте с полиэтиленовым покрытием	\$ 126,9	\$ 33,8	3,7
5.	Традиционная СВУ со стеклянным покрытием	\$ 215,0	\$ 61,9	4,3
6.	Традиционная СВУ с полиэтиленовым покрытием	\$ 194,8	\$ 46,6	4,1

Примечание: 1 доллар США = 69 сом (киргизский сом) и 950 000 сум (узбекский).

#### *4.5. Погрешность измерений*

Нами оценены погрешности экспериментов по определению наиболее важных технических и эксплуатационных параметров разработанных СВК и в целом СВУ. К таким параметрам относятся:

- температура воды на входе и выходе из СВК, потребляемой воды в баке-аккумуляторе СВУ;
- плотность солнечного излучения;
- КПД СВК и СВУ.

Ниже приведены методика оценки и величины погрешности измерений указанных параметров, определенных прямым или косвенным способом.

При оценке значений ошибок измерений использовалась методика, изложенная в [73,74].

1. Определение погрешности измерения температуры нагреваемой воды. Измерение температуры нагреваемой воды производилось термомпарами, показания которых регистрировались потенциометром класса точности 1,50.

Предельная погрешность показаний потенциометра составляет:

$$\Delta T_n^1 = \frac{1,50 * 100}{100} = 1,5^0 C \quad (4.1)$$

Погрешность при визуальном отсчете по шкале прибора составляет 0,2 деления шкалы:

$$\Delta T_n^{11} = 5 * 0,2 = 1^0 C \quad (4.2)$$

С учетом этого, предельная абсолютная погрешность измерений температуры нагреваемой воды составляет

$$\Delta T_n = \Delta T_n^1 + \Delta T_n^{11} = 1,5^0 + 1^0 = 2,5^0 C \quad (4.3)$$

Таким образом, величина погрешности измерения температуры воды равна  $\pm 2,5\%$ .

Измерение температуры рабочей воды в СВК производилось с помощью термометров с классом точности 1,0 и диапазоном измерений  $0 \div 100^0 C$ .

С учетом предельной погрешности показаний и ошибки при визуальном отсчете по шкале термометра по вышеизложенной методике максимальная абсолютная погрешность измерения температуры рабочей воды в СВК составляет  $1,0^0 C$  т.е. 1%.

2. Определение погрешности измерений величины плотности поступления солнечного излучения. Измерение плотности суммарного солнечного излучения производилось пиранометрами марки М-80 с классом точности 1,0 с диапазоном измерений  $0 \div 1200$  Вт/м<sup>2</sup>.

Предельная абсолютная погрешность измерений плотности солнечного излучения, по паспортным данным самого пиранометра и гальванометра составляет  $3 \div 10$  Вт/м<sup>2</sup>, то есть до  $\pm 5\%$ .

3. Определение погрешности при определении к.п.д. СВК и СВУ. Данная величина определяется по следующей зависимости:

$$\eta = \frac{Q_n}{Q} \quad (4.4)$$

где  $Q_n$  - полезно выработанная СВК или СВУ тепловая энергия;  $Q$  - поступающая плотность солнечного излучения.

Согласно закону сложения случайных ошибок, величина средней квадратичной ошибки при определении к.п.д. СВК и СВУ выражается формулой:

$$S_n = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_n^2} \quad (4.5)$$

где  $S_1$  - погрешность измерения потенциометров;  $S_2$  - погрешность измерения термометров;  $S_3$  - погрешность измерения пиранометров;  $S_4$  - погрешность вычислений величин теплотерь.

Как видно из формулы (4.21) величина погрешности к.п.д. СВК и СВУ зависит от погрешностей величин измерений приборов и составляет  $\pm 3 \div 5 \%$ .

Расчеты показали, что распределение дисперсии ошибок измерений подчиняется нормальному закону.

По проведенным исследованиям необходимо отметить:

- СВУ на основе грунтовых СВК по эксплуатационным характеристикам не уступает СВУ на основе традиционных СВК;

- по стоимости разработанные СВУ в 2-2,5 раза дешевле СВУ на основе традиционных СВК и доступны для широких слоев населения;

- срок окупаемости разработанных СВУ в среднем в 2,7 раза ниже срока окупаемости традиционных СВУ;

- разработанная СВУ, предназначенная для сельской местности и горных регионов, является легкой, легко монтируемой, легко перемещаемой, в том числе и вьючным способом, дешевой, и что немаловажно, приспособлена для эксплуатации в пастбищных условиях.

## ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА СОЛНЕЧНЫХ АВТОНОМНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

### *5.1. Комплексная схема измерений для определения характеристик фотоэлектрических модулей*

На производительность фотоэлектрических модулей (ФЭМ) большое влияние оказывают многие факторы, такие как солнечная радиация, температура окружающей среды, угол наклона и др. Кроме того, выходные характеристики фотоэлектрических систем постепенно ухудшаются с течением времени, под воздействием солнца и других условий окружающей среды. Согласно данным международной электротехнической комиссии (МЭК) ограниченный гарантийный период ФЭМ колеблется от 20 до 25 лет, что означает, что скорость деградации должна составлять менее 1% в год. Тем не менее, обнаружено, что при изготовлении ФЭМ не всегда выполняются требования соответствующих стандартов и их производительность снижается намного быстрее, чем ожидалось. Поэтому при любых неисправностях ФЭМ важно выяснить причины, которые приводят к резким потерям мощности, и иметь возможность измерять выходные данные соответствующих ФЭМ в реальных условиях в течение длительного времени. Номинальные параметры ФЭМ измеряются в стандартных условиях испытания (СУИ) при солнечной радиации  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , воздушной массе AM1.5 и температуре ячейки или модуля  $25^\circ \text{ C}$  [102] на заводе или в специальных испытательных лабораториях. Затем ФЭМ транспортируются на место строительства солнечных фотоэлектрических систем (СФЭС). Очень важно, чтобы при транспортировке ФЭМ не повреждались механически.

Следует отметить, что производительность ФЭМ в реальных условиях является изменчивой. Поэтому необходимо предоставить более подробную информацию о ФЭМ в реальных условиях эксплуатации в течение длительного времени. Является актуальной задачей оценка надежности, производительности и выходных параметров ФЭМ.

В настоящее время, в МИСЭ ведутся работы по созданию сертификационной лаборатории по испытанию ФЭМ. В рамках проекта технического содействия Азиатского банка развития «Развитие солнечной энергетики в Республики Узбекистан» приобретено оборудование для оснащения измерительными приборами сертификационной лаборатории Международного института солнечной энергии (МИСЭ). В рамках выполняемых научно-технических проектов МИСЭ по испытанию ФЭМ, сотрудниками разрабатываются и создаются климатические камеры,

лабораторные стенды и другие приборы/оборудование по определению технических и эксплуатационных характеристик солнечных технологий. Измерительные приборы и оборудование используются для испытания таких комплектующих как фотоэлектрические модули, инверторы, контроллеры, кабели, «байпас» диоды и фотоэлектрические системы. Некоторые из вышеуказанных приборов и оборудования могут быть использованы для проведения испытаний по определению влияния климатических факторов на выходные параметры комплектующих СФЭС.

Для оценки надежности, производительности и определения выходных параметров в натурных испытаниях ФЭМ необходимо корректно составить последовательность измерений.

В данной работе, предлагается комплексная схема измерений выходных параметров ФЭМ с применением специального устройства «Sensor box». «Sensor box» позволяет измерять температуру окружающей среды, температуру обратной стороны ФЭМ, и интенсивность падающей перпендикулярно и под углом солнечной радиации.

На рисунке 5.1. Представлена первая часть комплексной схемы измерений.



Рисунок 5.1. Комплексная схема измерения климатических факторов.

На рисунке 5.1 представлена схема последовательности измерений климатических факторов: солнечная радиация, скорость ветра, температура и влажность воздуха.

Данная схема позволяет одновременно измерять климатические факторы, влияющие на производительность и надежность ФЭМ и выходные параметры ФЭМ. Комплексная схема состоит из двух частей. В первой части измеряются климатические факторы, а второй части измеряются выходные параметры ФЭМ.

На рисунке 5.2 представлена вторая часть комплексной схемы измерений.

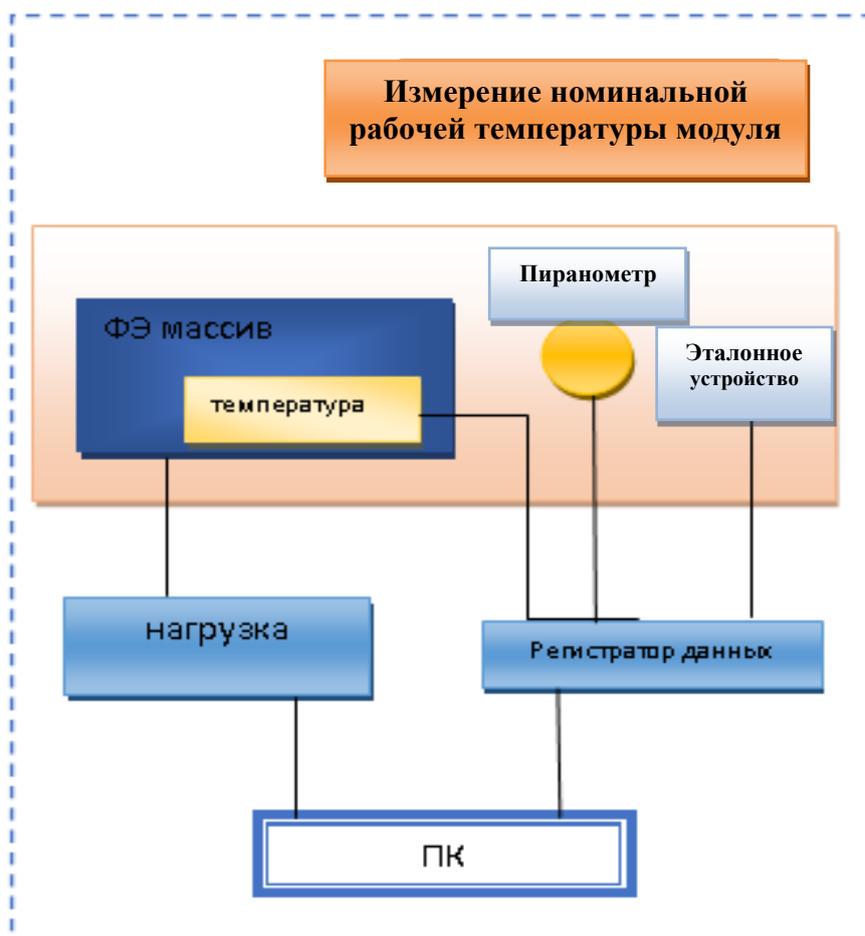


Рисунок 5.2. Комплексная схема измерений по определению выходных параметров ФЭМ.

На рисунке 5.2 представлена схема последовательности измерений таких выходных параметров ФЭМ как напряжение и сила тока в точке максимальной мощности, мощность, ток короткого замыкания, напряжение холостого хода, К.П.Д., фактор заполнения и коэффициент производительности.

Выходные параметры ФЭМ, определяются из вольтамперных характеристик, измеренных в СУИ и при реальных погодных условиях.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

-выходные параметры ФЭМ отличаются от номинально измеренных в СУИ из-за нестабильности температуры воздуха и солнечного излучения;

- для оценки надежности, производительности и выходных параметров при натурных испытаниях ФЭМ, необходимо правильно составить последовательность измерений;

- комплексная схема измерений с применением специальных инновационных приборов позволяет одновременно измерять выходные характеристики фотоэлектрических модулей в зависимости от климатических условий.

## ***5.2. Анализ структур подключения и особенности потребления мощности фотоэлектрических станций***

В нынешних социально-экономических условиях одним из основных принципов внедрения солнечных фотоэлектрических установок является изучения устройств и систем, анализ структур подключения и особенности потребляемой мощности [129, 149,152,153].

Целью исследования является широкое внедрение инновационных идей, разработок и передовых технологий, гармонизация национальных нормативных документов с международными нормами, правилами и стандартами в строительстве на основе их изучения и анализа структуры подключения, определение категории номинальной мощности фотоэлектрических станций и разработка ГОСТов и строительных норм и правил (СНиП, ШНК) и пособия к ним.

При проектировании фотоэлектрических станций (ФЭС) необходимо обратить внимание на две основные классификации:

- по вырабатываемой мощности;
- по типу подключения.

По вырабатываемой мощности ФЭС, согласно классификации Международного стандарта ИИЭР (IEEE), в зависимости от номинальной мощности подразделяются на три категории.

1. Маломощные ФЭС – мощность до 10 кВт.
2. ФЭС средней мощности – мощность таких систем лежит в пределах между 10 и 500 кВт.
3. Крупные ФЭС – мощностью свыше 500 кВт.

Первые две категории обычно устанавливаются на уровне распределительных сетей, третья категория станций подключается к высоковольтным сетям.

Одним из основных критериев для подробного изучения систем ФЭС являются типы и виды подключения.

По типу подключения ФЭС подразделяются на три основных вида.

1. Фотоэлектрическая станция, подключенная к общей сети.
2. Автономная фотоэлектрическая станция, с системой хранения энергии.

3. Гибридная система, то есть ФЭС, подключенная к сети и имеющая систему хранения энергии.

Рассмотрим каждый вид подключения ФЭС по отдельности. Фотоэлектрические станции подключенные к общей сети являются одной из важных систем электроснабжения. В данном типе ФЭС, подключение системы имеет следующую последовательность: фотоэлектрические батареи подключаются к инвертору, который непосредственной подключается к общей распределительной сети.

Схема соединения фотоэлектрической системы с инновационными измерительными приборами подключенной к общей распределительной сети показана на рисунке 5.3.

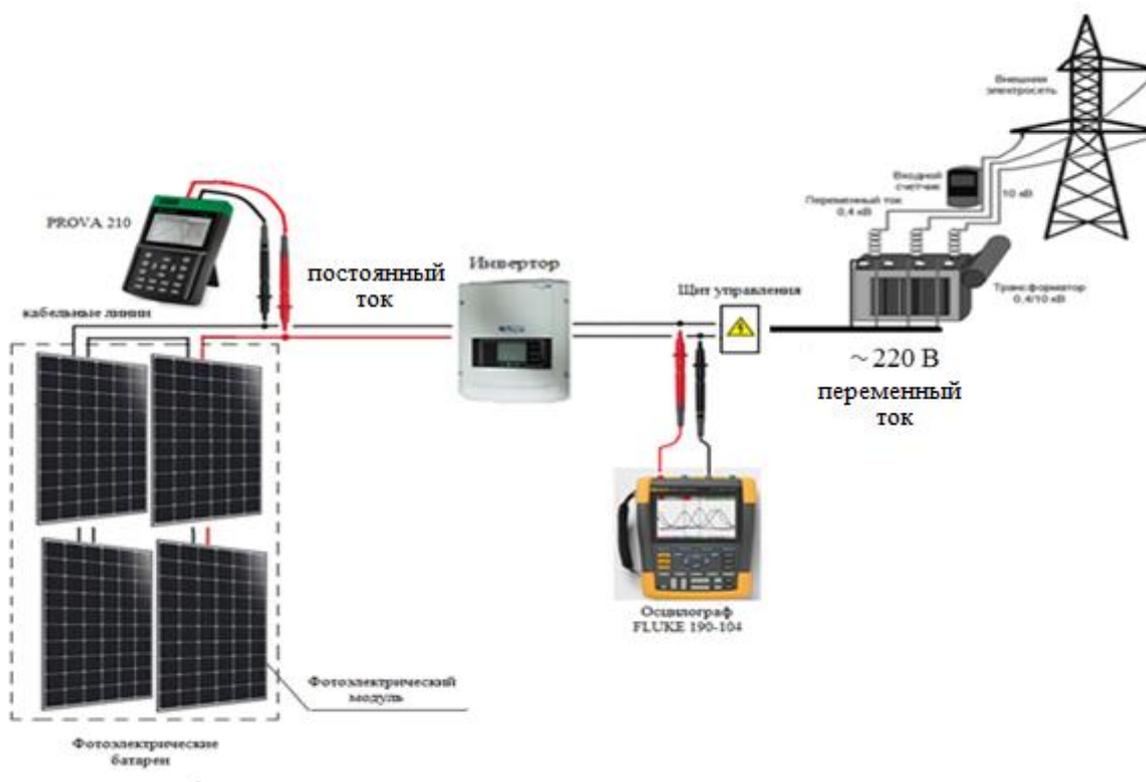


Рисунок 5.3. Схема соединения фотоэлектрической системы с инновационными измерительными приборами, подключенной к общей сети.

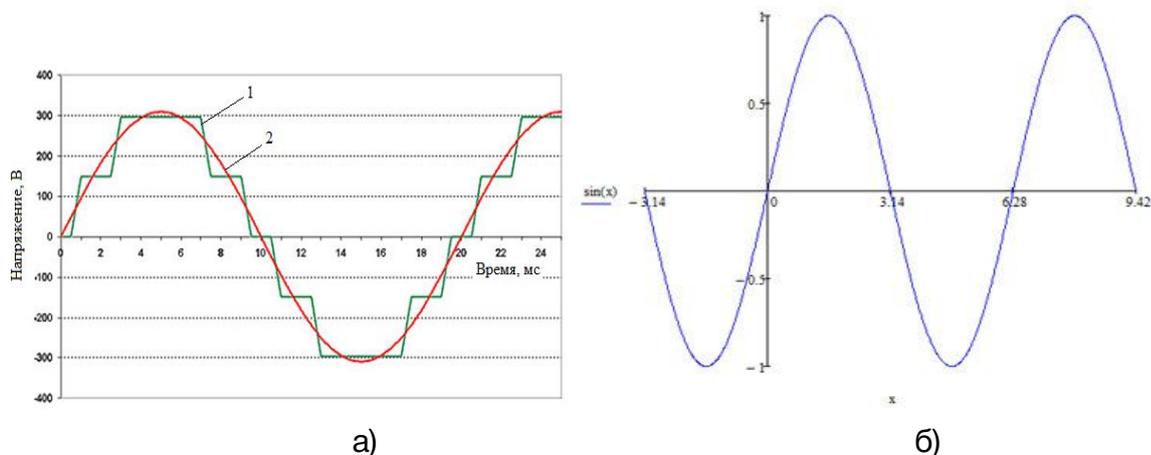
Из рисунка 5.3 видно последовательное соединение фотоэлектрических батарей с инвертором, щитом управления к распределительной сети. Основным оборудованием является инвертор. Инверторы служат для преобразования постоянного тока, вырабатываемого фотоэлектрическими батареями, в переменный ток. Инверторы подразделяются на два типа:

- инверторы для автономных систем со встроенным генератором частоты;
- инверторы сетевого использования.

При подключении ФЭС к общей распределительной сети используются сетевые инверторы. Сетевые инверторы сделаны по высокочастотной или по

низкочастотной технологии, часто их называют SMART-инверторами. Инвертор SMART представляет собой преобразователь постоянного тока в переменный и предназначен для питания оборудования синусоидальным напряжением переменного тока 220 В частотой 50 Гц.

В SMART инверторах выходное напряжение с модифицированным синусом или с чистым синусом. Пример выходного напряжения показан на рисунке 5.4.



а - модифицированная синусоидальная волна; б- синусоидальная волна.

Рисунок 5.4. Инвертор с выходным напряжением модифицированной синусоидальной волной и с чистой синусоидальной волной.

На рисунке 5.4 показаны характеристики инвертора с выходным напряжением модифицированным синусом и с чистым синусом. Как видно из рисунка 5.4,

а) в инверторе с модифицированным синусом, частота и напряжение на выходе могут варьироваться и содержат шум и искажение;

б) в инверторе с чистым синусом, частота и напряжение на выходе не имеют шума и искажения.

Необходимо отметить, что для некоторой аппаратуры форма сигнала имеет не маловажное значение. К ней относится аппаратура чувствительная к помехам, то есть аппаратура с трансформаторными источниками питания: компрессоры, электродвигатели, насосы и многое другое. К приборам совсем не чувствительным к формам сигнала относятся нагревательные приборы: лампы накаливания, приборы, которые имеют импульсные источники питания (компьютеры, ноутбуки, цифровые телевизоры). Когда работает инвертор (преобразователь) с модифицированной синусоидой, в электросеть попадает большое количество помех, поэтому медицинская техника и системы связи могут работать нестабильно, так как помехи влияют на трансформаторы и электродвигатели: устройство начинает греться, снижается КПД.

Одним из наиболее распространенных видов по типу подключения ФЭС являются автономные фотоэлектрические станции. Автономные фотоэлектрические станции предназначены для автономного электроснабжения жилых объектов,

отдаленных от общей распределительной сети или для электроснабжения в труднодоступной сельской местности и горных регионах, где нет распределительной сети. Схема соединения автономной ФЭС с измерительными приборами с системой хранения энергии, то есть с аккумуляторными батареями показана на рисунке 5.5.

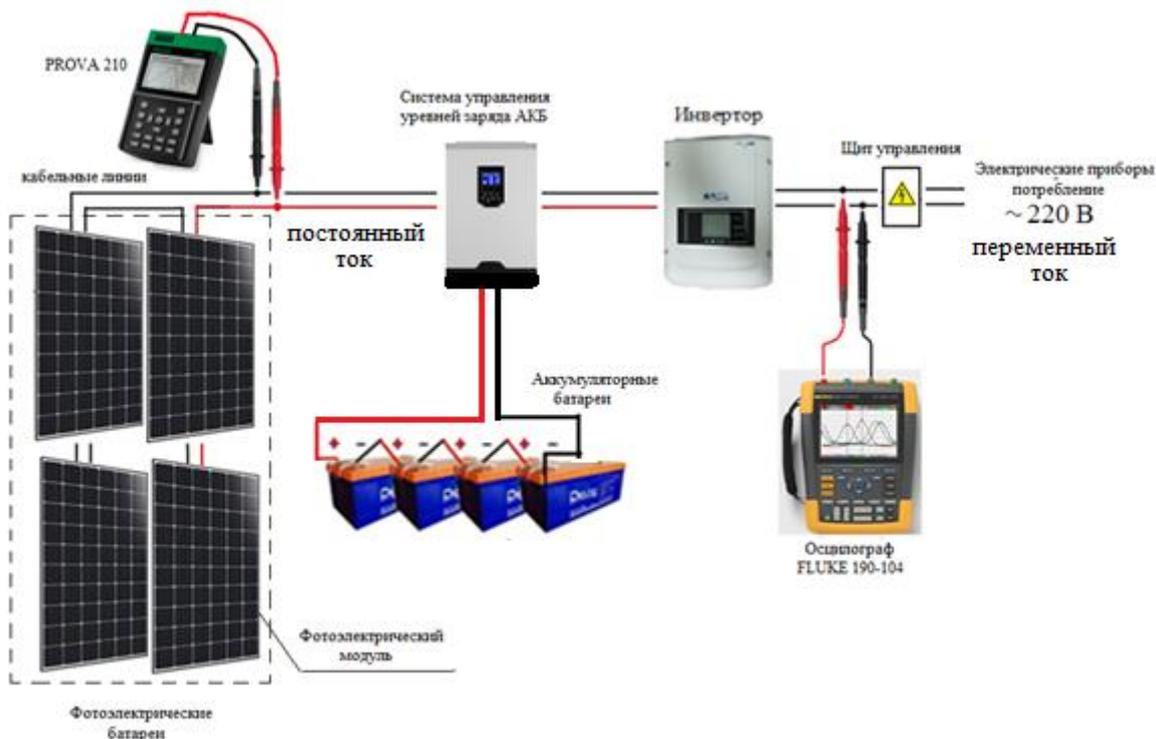


Рисунок 5.5. Схема соединения автономной ФЭС и измерение ее выходных параметров.

На рисунке 5.5 показана схема и измерение выходных параметров автономных ФЭС. Как видно из рисунка напряжение после выхода из ФЭБ поступает в контроллер заряда, который с одной стороны подключен к аккумуляторным батареям напряжением 12 или 24 или 48 В и заряжает его, а с другой стороны подключен к инвертору. Инвертор в свою очередь подключен к щиту управления через которые подключаются электрические приборы, работающие на переменном напряжении 220 В. Таким образом, схемы подключения автономных фотоэлектрических станций работают для автономного электроснабжения.

Одним из наиболее перспективных систем подключения ФЭС является гибридная система.

Гибридная система подключения ФЭС представляет собой две системы соединенные в одну: систему ФЭС, подключенной к общей распределительной сети, и систему хранения энергии.

На рисунке 5.6 показаны схема и измерение выходных параметров гибридной ФЭС.

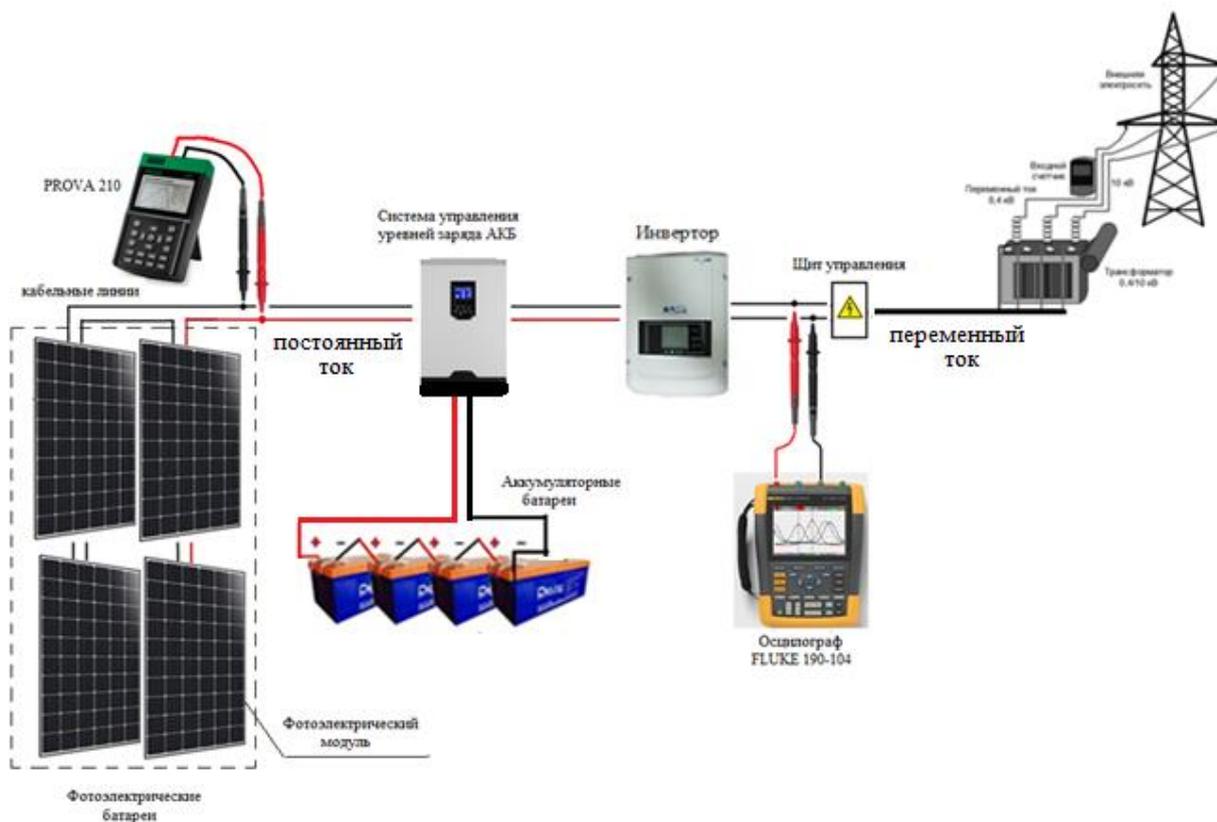


Рисунок 5.6. Схема и измерение выходных параметров гибридной ФЭС.

Как видно из рисунка 5.6 в гибридной системе фотоэлектрические батареи подключаются к контроллеру аккумуляторных батарей, далее подключаются к инвертору, затем к щиту управления и к общей распределительной системе. Особенностью гибридной системы является, то что инвертор является многофункциональным, их часто называют инверторами третьего поколения. Они сочетают в себе функции автономного инвертора, сетевого инвертора, контроллера заряда аккумуляторов от солнечных батарей и зарядного устройства аккумуляторных батарей от сети 220 В для обеспечения бесперебойного электроснабжения.

При отключении напряжения от общей распределительной сети, система с помощью реле напряжения подключаются к аккумуляторным батареям, которые в свою очередь, обеспечивают бесперебойную систему электроснабжения.

Как видно из 5,4, 5,5 и 5.6 в схеме подключения ФЭС основным элементом являются фотоэлектрические батареи (ФЭБ), которые состоят из фотоэлектрических модулей (ФЭМ). ФЭМ в свою очередь состоят из солнечных элементов (СЭ). Один СЭ не производит достаточного количества электроэнергии, в связи, с чем СЭ собираются до необходимой мощности в ФЭМ для производства больше электричества.

При измерении выходных параметров ФЭМ необходимо обратить внимание на соответствие МЭК и национальным стандартам O'z DSt.

Для измерения выходных параметров ФЭМ на базе Международного института солнечной энергии в лаборатории «Фотоэлектрические станции» созданы ряд стендов, соответствующих стандартам международной электротехнической комиссии (МЭК) и приобретены инновационные измерительные приборы и принадлежности, которые соответствуют требованиям национальных стандартов O'z DSt.

Эффективность ФЭМ определяется ее выходными параметрами:

- номинальная мощность (Ватт);
- напряжение в точке максимальной мощности  $V_{\text{макс}}$  (Вольт);
- сила тока в точке максимальной мощности  $I_{\text{макс}}$  (Ампер);
- напряжение холостого хода  $V_{\text{х.х.}}$  (Вольт);
- ток короткого замыкания  $I_{\text{к.з.}}$  (Ампер);
- площадь модуля  $S$  ( $\text{м}^2$ );
- количество солнечных элементов в одном модуле (штук);
- размер солнечных элементов ( $\text{мм}^2$ ).

Для оценки эффективности ФЭМ необходимо определить коэффициент полезного действия.

Согласно международному стандарту *IEC 62446-1: Фотоэлектрические системы, подключенные к электросети - Часть 1. Требования к системной документации, пусконаладочным испытаниям и проверкам*, для получения необходимой мощности в ФЭС фотоэлектрические модули могут соединяться параллельным и последовательным соединением. При параллельном соединении суммируется напряжение, а при последовательном соединении суммируется сила тока. Для оптимального подбора тока и напряжения в фотоэлектрических станциях, солнечные батареи нужно подключать последовательно и параллельно [113, 152, 153, 154, 155].

Одним из основных приборов для измерений выходных параметров ФЭМ является кабельный универсальный тестер и осциллограф. Кабельный тестер, тестер витой пары — устройство, обычно состоящее из двух частей, проверяющее состояние кабеля или кабельной линии. Основной функцией универсального тестера является поиск места повреждения в подземном кабеле высокого напряжения, а также они позволяют проводить измерения характеристик кабеля или кабельной линии. Кабельный универсальный тестер представляет собой цифровой мультиметр UT61B.

Осциллограф FLUKE 190-104 — прибор, предназначенный для исследования (наблюдения, записи, измерения) амплитудных и временных параметров электрического сигнала, подаваемого на его вход, и наглядно отображаемого (визуализации) непосредственно на экране, либо регистрируемого

на фотоленту. Также в комплекте инновационных измерительных приборов имеются Thermal Image FLUKE – Ti 200 для измерения температуры на поверхности фотоэлектрических модулей и других приборов, тепловизор, лазер-метр и другие.

По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

- для широкого внедрения инновационных идей изучены схемы и проанализированы структуры подключения фотоэлектрических станций;
- для освоения разработок и передовых технологий определены особенности потребления мощности фотоэлектрических станций;
- подробно рассмотрены типы комплектующего оборудования ФЭС;
- на основе проведенных исследований, в целях гармонизации национальных нормативных документов с международными нормами, правилами и стандартами в строительстве нами разработаны в соавторстве строительные нормы и правила (СНиП, ШНК) и пособие к ним:
  - ШНК -2.04-15-20 «Фотоэлектрические станции»;
  - пособие по проектированию энергосберегающих решений фотоэлектрических станций к ШНК 2.04.15-20.

### ***5.3. Исследование защиты от перенапряжения фотоэлектрических модулей***

В Узбекистане последние годы планируется строительство генерирующих мощностей на основе технологий возобновляемых источников энергии (ВИЭ) различной мощности, в связи с этим имеется необходимость в расширении исследований, позволяющих определить качество технологий возобновляемых источников энергии ввозимых в Республику. Учитывая достаточно высокий потенциал солнечной энергии в РУз, Правительством принято решение о строительстве 15 солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) до 2030 года [110].

В работе [111] рассмотрены условия частичного затенения, вызванного неравномерным излучением и другими условиями окружающей среды, которые влияют на работу солнечных элементов. В зависимости от степени затенения это явление вызывает уменьшение выходной мощности солнечных элементов. Также сравниваются два обходных диода: фотоэлектрический модуль с обходным диодом на каждой ячейке и с обходным диодом на каждой групповой ячейке. Результаты моделирования показывают, что оба решения могут ограничить эффекты явления затенения и, таким образом, улучшить эксплуатационные характеристики фотоэлектрических (PV) систем. Кроме того, анализ результатов моделирования для вольтамперных и характеристических и зависимости мощности от напряжения, кривых I-V и P-V подчеркивает преимущества и недостатки каждого типа конфигурации обходного диода, а также их использование на практике.

В работе [112] рассмотрена модель фотоэлектрического элемента Spice. Представлено математическое уравнение, которое описывается через эквивалентную схему, включающую источник фототока, диод, последовательное сопротивление топ и шунтирующий резистор. Spice используется для имитации схемотехнической модели для фотоэлементов, а также для проведения исследования поведения в различных условиях солнечной инсоляции, включая эффект затенения, температуру диода.

В работе [113] рассмотрены условия частичного затенения. В этом случае характеристика PV становится более сложной с несколькими пиками. Показано: влияние затенения экспериментально иллюстрируется измерениями на двух коммерческих Серия PV панелей мощностью 140 Вт.

В работе [114] рассмотрена новая стратегия обхода для монокристаллических и поликристаллических солнечных панелей, позволяющая значительно снизить температуру горячей точки как в условиях частичного, так и полного затенения. В отличие от других активных схем байпаса, предлагаемое решение не требует ни логики управления, ни источника питания и может быть легко заменено стандартным байпас диодом. Представлены результаты экспериментов, выполненных на двух коммерческих солнечных панелях, в которых принят стандартный обходной диод.

В работе [115] представлена методика моделирования и моделирование производительности фотоэлектрических модулей, работающих частично в затененных условиях. В работе несколько уровней тени были протестированы на одной ячейке, составляющей часть фотоэлектрического модуля, имеющего 36 солнечных элементов, соединенных последовательно, и было оценено влияние скорости тени на большинство важных характеристических параметров фотоэлектрического модуля.

Нами собран испытательный стенд для проведения экспериментальных исследований по защите от перенапряжений фотоэлектрических модулей. Экспериментальные исследования проводились согласно стандартам международной электротехнической комиссии (МЭК) 61215-2:2016 Кристаллические силиконовые наземные фотоэлектрические модули - аттестация конструкции и утверждение типа.

При проведении экспериментов на испытательном стенде необходимо частичное затенение поверхности ФЭМ. Затенение негативно воздействует на выходные параметры солнечных элементов ФЭМ. В результате затененная часть ФЭМ начинает перегреваться, т.е. работает как нагрузка и это приводит к деградации солнечного элемента. При длительном проведении эксперимента в таком режиме выясняется, что ФЭМ через некоторое время могут выйти из строя. Данная проблема решается с помощью байпас (bypass) диода. Байпас диод часто называют как обходной, шунтирующий, обводной, диод Шоттки и т.д.

Испытательный стенд состоит из схемы соединения ФЭМ с регулирующими устройствами, предохранителя, инвертора, аккумулятора и электронного счетчика. Схема соединения ФЭМ с его регулирующими устройствами показана на рисунке 5.7.



Рисунок 5.7. Схема соединения ФЭМ с частичной затенённостью с его регулирующими устройствами.

При использовании диодов они шунтируются, и ток через них уже не идет, а обходит. Чтобы минимизировать падение напряжения, диоды должны иметь низкое сопротивление, поэтому в последнее время наиболее часто используют низкоомные диоды Шоттки. Принцип действия байпас диода: байпас диод подключается параллельно с солнечными элементами, но таким образом, чтобы их полярность была противоположна. При нормальном режиме фотоэлектрического модуля, ее обходной диод будет работать в режиме холостого хода т.к. диод будет заперт прямым падением напряжения, что будет препятствовать протеканию тока в цепи. В случае же когда часть фотоэлементов накрое тенью и возникнет теневой эффект, ток будет проходить через байпас диод – т.е. диод откроется. Это произойдёт из-за возникшего обратного напряжения смещения.

В идеале, каждый фотоэлемент должен быть подсоединён к своему шунтирующему диоду, но на практике, таких диодов не больше трех. К ним в свою очередь подключают группу фото-ячеек. При затенении какой-либо ячейки будет выведена из работы группа фотоэлементов, к которой относится данная фото-ячейка, что никак не повлияет на работоспособность остальных не затененных групп солнечной панели. При этом электрическая мощность, вырабатываемая фотоэлектрическими модулями, будет снижена прямо пропорционально общей мощности фотоэлементов выведенной группы (см. рис. 5.8.).

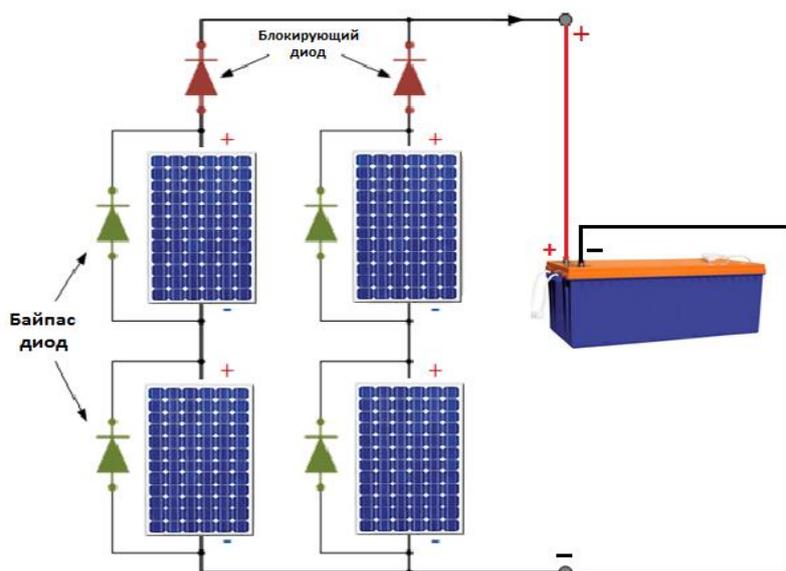


Рисунок 5.8. Схема соединения байпас диода с ФЭМ.

Если же в схему солнечной батареи не включить байпас диоды, то можно наблюдать следующее явление: сопротивление той части панели, которая будет оставаться в тени, будет значительно выше сопротивления нагрузки. В результате, она будет потреблять на себя почти всю солнечную энергию, вследствие чего панель может перегреться и выйти из строя. Такое явление в фотоэлектрических станциях большой мощности нежелательно.

В лаборатории международного института солнечной энергии (МИСЭ) имеется несколько фотоэлектрических модулей разных производителей - Китай, Корея, Япония и др.

Для испытания фотоэлектрических модулей на случай перенапряжения выбираем два ФЭМ, одного производителя и одинаковой мощности, подсоединяем их параллельно друг другу рис.5.9.

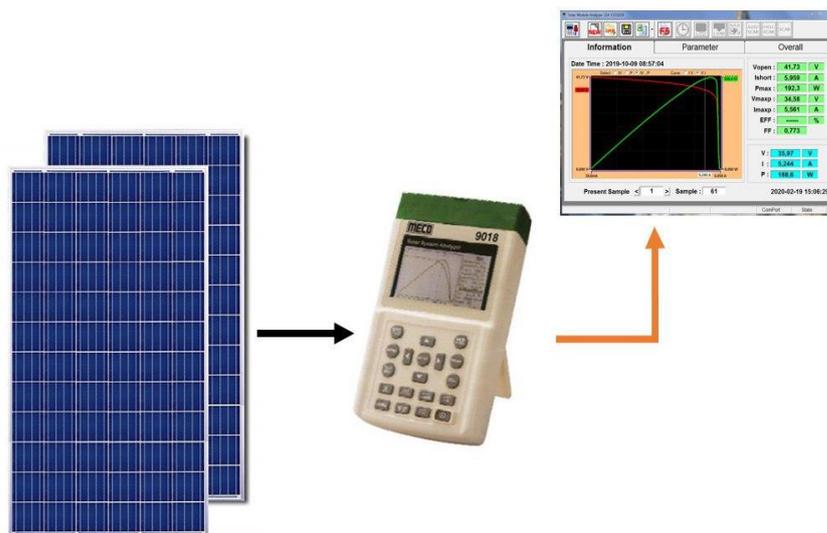
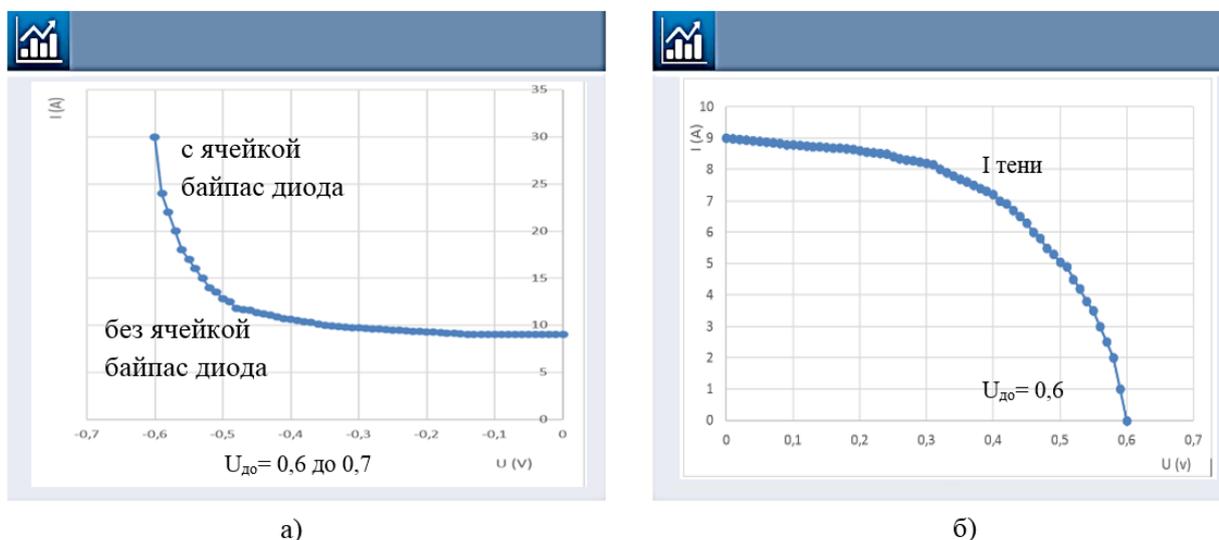


Рисунок 5.9. Схема подключения ФЭМ к компьютеру и к приборам для определения ВАХ.

Первоначально мы на фотоэлектрические модули нагружаем минимальное питание и постепенно увеличиваем напряжение.

В этом случае наблюдается изменение вольт-амперной характеристики фотоэлектрических модулей, рис.5.10.

На рисунке 5.10 представлена схема подключения ФЭМ к компьютеру и к приборам для определения ВАХ.



- а) кривая ВАХ одиночного солнечного элемента;  
 б) объединенная ВАХ с другими кривыми одиночными солнечными элементами.

Рисунок 5.10. Вольт-амперная характеристика фотоэлектрического модуля с байпас диодом.

На рис.5.10. показана вольт-амперная характеристика фотоэлектрического модуля при работе с байпас диодом. ВАХ байпас диода можно определить двойным подходом: первым определяется кривая ВАХ одиночного солнечного элемента; вторым объединяется ВАХ одиночного солнечного элемента с другими кривыми. По графикам видно, что байпас диод воздействует на солнечный элемент отрицательно. Обратное смещение на графике больше, чем напряжение на солнечном элементе, в этом случае диод включается и проводит ток.

Результаты экспериментальных исследований показывают:

-при подключении байпас диодов к фотоэлектрическим модулям и в том числе фотоэлектрическим станциям повышается эффективность и безопасность использования;

-фотоэлектрические станции без байпас диода работают, но потребляют на себя почти всю солнечную энергию, при этом ФЭМ перегревается, уменьшается эффективность и безопасность использования;

- при затенении фотоэлектрических модулей электрическая мощность, вырабатываемая фотоэлектрическими модулями, будет снижена прямо пропорционально общей мощности ФЭМ выведенной группы.

#### ***5.4. Разработка и исследование эксплуатационных характеристик автономной фотоэлектрической станций с номинальной мощностью 5 кВт в условиях Кыргызстана***

Во всем мире быстро растут масштабы использования возобновляемых источников энергии, в том числе солнечной энергии. Ее используют для получения электрической или тепловой энергии.

В Кыргызстане имеются широкие возможности для использования возобновляемых источников энергии в горной и сельской местности. В сельской местности уже сейчас можно использовать солнечную энергию для получения электрической или тепловой энергии. Как показывает практика, научные и образовательные центры по возобновляемым источникам энергии расположены и находятся в долинах с благоприятными актинометрическими и климатическими условиями [139,140,141].

По заводским данным конфигурация и технология, использующая фотоэлектрический эффект, базируется на кремниевых поликристаллических или монокристаллических фотоэлектрических модулях наземного применения. КПД в поликристаллических фотоэлектрических модулях мощностью 300 Вт достигает до 14%, в монокристаллических фотоэлектрических модулях мощностью 300 Вт достигает до 18% и по прогнозам остается на протяжении 15-20 лет, со временем, в процессе эксплуатации, КПД падает [129,152,153].

При строительстве автономных фотоэлектрических станций на основе фотоэлектрических модулей, произведенных различными производителями [152,153], необходимо уделять внимание выходным энергетическим параметрам, таким как эффективность, производительность, вырабатываемая мощность и т.д., так как, выходные параметры фотоэлектрических станций изменяются под воздействием внешних факторов [148,147].

Основными факторами, влияющими на выходные параметры, являются температура окружающей среды, плотность солнечной радиации, скорость ветра, широта местности, запыленность атмосферы, угол наклона фотоэлектрических модулей [145,150,151].

Изучение влияния погодных условий, оптимальной ориентации, угла наклона панелей и т.д. на параметры работы солнечной батареи в естественных условиях их эксплуатации является актуальной задачей, способствующей повышению эффективности разрабатываемых модульных солнечных фотоэлектрических станций и алгоритмов управления ими [149].

Кыргызстан, в частности город Ош, относится к горным регионам Центральной Азии. Одним из основных нерешенных вопросов при обеспечении электроэнергией в горных и сельских регионах является их отдаленность от общей распределительной сети, решение задач такого рода является актуальным.

Согласно научно-техническому договору №24 от 30.11.2018г. между Технологическим университетом Внутренней Монголии Китайской Народной Республики (КНР) и Кыргызско-Узбекским университетом Кыргызской Республики на территории Кыргызско-Узбекского университета построена автономная фотоэлектрическая станция (ФЭС) с номинальной мощностью 5 кВт.

С целью обеспечения системой бесперебойного и эффективного электроснабжения на основе автономной ФЭС потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети, нами собрана принципиальная схема для автономного электроснабжения медицинского центра при Кыргызско-Узбекском университете с номинальной мощностью 5 кВт, (г.Ош, Кыргызской Республики).

Принципиальная схема для автономного электроснабжения представляет собой использование модульного принципа построения основных её функциональных узлов. При таком подходе строения принципиальной схемы автономного электроснабжения значительно повышаются показатели надёжности комплектующего оборудования.

Модульный принцип построения схем электроснабжения фотоэлектрических систем, подразумевает, что принципиальная схема автономного электроснабжения состоит из нескольких функционально самостоятельных компонентов (модулей). Это обеспечивает возможность масштабирования в соответствии с требованием потребителя. Каждый модуль может быть с легкостью

исключен из одной схемы электроснабжения и включен в другую схему автономного электроснабжения.

Принципиальная схема и основные параметры комплектующего оборудования автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт были согласованы с учеными Технологического университета Внутренней Монголии КНР и с производителями заводов Xinjiang Dobest Import&Export Trade Co.,LTD и Neolith Energy Technology CO.,LTD Китайской Народной Республики (КНР).

### **Материалы и методы исследования**

Согласно научно-техническому договору на территории К-УУ для строительства автономной ФЭС предоставлен земельный участок с общей площадью 50 м<sup>2</sup> и помещение (будка) для размещения щита управления и комплектующего оборудования. При этом полезная площадь ФЭМ исследуемой автономной ФЭС - 24 штуки составила 39,12 м<sup>2</sup>. На остальной площади 13,88 м<sup>2</sup> размещены щит управления и комплектующее оборудование.

Медицинский центр при Кыргызско-Узбекском университете (К-УУ) оснащен самым современным медицинским оборудованием, комплектующими и энергосберегающими медицинскими приборами: осветительными лампочками, обогревателями, снаружи прожекторами и др., предназначенными для эффективного потребления электроэнергии. При этом общая потребляемая мощность составляет 4,3 кВт.

В конструкцию автономной ФЭС входят ФЭМ поликристаллические, два контроллерных заряда, инвертор, имеющий два входных канала, гелиевые аккумуляторные батареи и система защиты, предохранители. Кроме того, в конструкцию автономной ФЭС входят кабели, металлический каркас для удержания фотоэлектрических батарей (ФЭБ), имеющий наклонный угол 40°31 (равный широте местности г.Ош), опора металлическая для передачи электроэнергии, щит управления автономной ФЭС и заземление системы. Исследуемая автономная ФЭС подключена к системе по типу «Off-grid», которая не подключается к общей распределительной сети, а работает автономно.

Общий вид исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт показан на рисунке 5.11.



Рисунок 5.11. Общий вид исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт при Кыргызско-Узбекском университете.

На рисунке показан общий вид исследуемой автономной фотоэлектрической станций с номинальной мощностью 5 кВт с ориентацией на юг, завершение строительства и подключение системы хранения электрической энергии (аккумуляторы).

Для подробного исследования автономной ФЭС приводится принципиальная схема, показанная на рис.5.12.

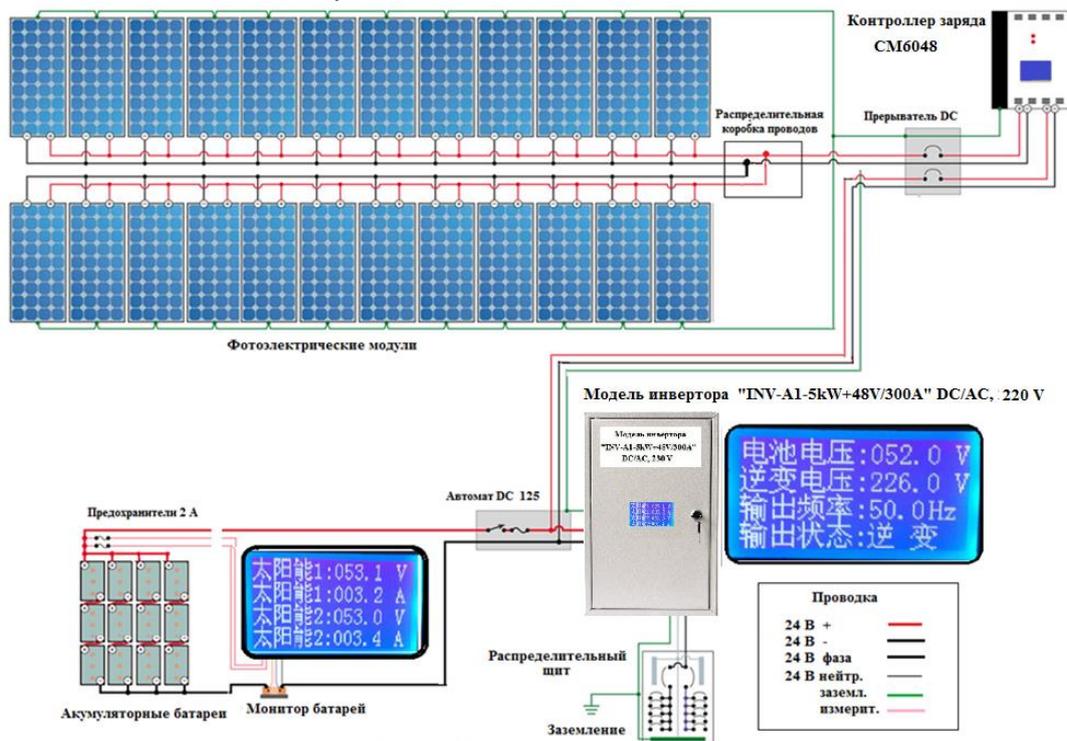


Рисунок 5.12. Принципиальная схема исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт.

Как видно из рисунка 5.12, в принципиальной схеме исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт показано соединение ФЭМ поликристаллических с мощностью 260 Вт в количестве 24 штуки, распределительная коробка проводов, контроллер заряда (модель CM6048), инвертор (модель «INV-A1-5kW+48V/300A») DC/AC 5 к Вт, 220 В для автономных систем, гелиевые аккумуляторные батареи типа «STORACE SRG 200 –12» - 12 штук, подключенные через предохранители и автоматы, щит управления с общей системной схемой заземления.

Для эффективной работы двух канального инвертора и контроллеров заряда соединение ФЭМ произведено по модульному принципу и разделено на две части. В таблице 5.1 приведены технические характеристики ФЭМ поликристаллической с мощностью 260 Вт.

Таблица 5.1.

Технические характеристики поликристаллического фотоэлектрического модуля мощностью 260 Вт.

№	Параметры	значение
<i>Электрические</i>		
1.	Максимальная мощность модуля, Вт	260
2.	Оптимальное рабочее напряжение, В	36
3.	Напряжение холостого хода, В	30
4.	Ток короткого замыкания, А	9,70
5.	Оптимальный рабочий ток, А	8,66
<i>Механические и температурные характеристики</i>		
6.	Габаритные размеры, мм	1000x1600
7.	Общая площадь, м <sup>2</sup>	1,65
8.	Количество солнечных фотоэлектрических элементов в одном модуле, шт.	60
9.	Размер фотоэлементов, мм	155x155
10.	Температура эксплуатации, °С	-40 ~+85

Инвертор представляет собой устройство, позволяющее преобразовывать постоянный ток, полученный от солнечных батарей в переменный ток. Потребляемая мощность инверторов в зависимости от назначения достигает до 90 % [6]. Инвертор использованный в конструкции автономной ФЭС (модель INV-A1-5kW+48V/300A) DC/AC 5 к Вт, 220 В, по типу относится к инверторам, для автономных систем. По виду и выпускаемым параметрам принадлежит к инверторам с богатыми функциональными возможностями: к низкочастотным, с чистым синусом, подключаемым к аккумуляторным батареям. При нагрузке 5 кВт и выше инверторы необходимо ориентировать на напряжение 48 В. Используемая в инверторе частота 50 Гц, соответствует частоте промышленной сети.

Для максимального использования электроэнергии, вырабатываемой солнечными батареями, соединенными по модульному принципу, для хранения или вырабатывания электроэнергии, применены два контроллер заряда (модель CM6048)

широотно-импульсной модуляции (ШИМ), которые позволяют повысить КПД электрических преобразователей до 80%.

Функции контроллера заряда: применение с различными типами аккумуляторов, автоматическая система определения уровня заряда аккумуляторов, автоматическое обеспечение постоянного тока заряда аккумуляторов и др. При двух контроллерной схеме инвертора повышается надежность и понижается риск перегрева инвертора, что позволяет снизить расход на электроэнергию и повысить эксплуатационный ресурс оборудования.

Аккумуляторные батареи при соединении подразделены на две группы: с параллельным соединением и с последовательным соединением. Как известно, при параллельном соединении суммируется напряжение, а при последовательном соединении суммируется сила тока. Для оптимального подбора тока и напряжения на исследуемой автономной фотоэлектрической станции, аккумуляторные батареи нужно подключать последовательно и параллельно. На основе показаний инвертора получены данные аккумулятора напряжения, входящее постоянное напряжение, сила тока ФЭМ и выходного переменного напряжения автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт.

Для обеспечения электробезопасности в автономной ФЭС, ФЭМ и всё комплектующее электрооборудование заземлены согласно правилам устройств и эксплуатации электрооборудования.

Общий вид инвертора с комплектующим оборудованием и размещение контроллера заряда, автомат управления и соединения аккумуляторных батарей показаны на рис.5.13.



Рисунок 5.13. Общий вид инвертора, размещение контроллера заряда, автомата управления и соединения аккумуляторных батарей в исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт.

На рисунке 5.13 показано соединение аккумуляторных батарей. Модель инвертора «INV-A1-5kW+48V/300A» принимает напряжение 48 В. Для подбора напряжения 48 В и силы тока выбраны аккумуляторные батареи типа SRG 200 – 12. ФЭС имеет три секции аккумуляторных батарей, между собой три секции соединены последовательно, в этом случае напряжение остается не изменным

формула (1), возрастает сила тока, итого получаем 600 Ампер-час. В одной секции четыре штуки аккумуляторных батарей по 12 В, они между собой соединены параллельно, при параллельном соединении аккумуляторных батарей возрастает напряжение, итого 48 В, сила тока остается неизменной формула (2).

$$U_{\text{общ}} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots + U_n \quad (1)$$
$$I_{\text{общ}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (2)$$
$$I_{\text{общ}} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

Согласно формулам (1) и (2) от аккумуляторных батарей получим напряжение 48 В и силу тока 600 Ач. На основе выше приведенных расчетов в автономной ФЭС использовано 12 штук аккумуляторных батарей. За один час инвертор потребляет 48В/300А, излишняя сила тока остается в запасе в аккумуляторных батареях, с помощью которых можно увеличить работу инвертора.

На основе показаний инвертора получены данные аккумулятора: напряжение и выходное переменное напряжение, входящее постоянное напряжение и сила тока фотоэлектрических батарей исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт, показаны на рис.5.14. и рис.5.15. Установленный в фотоэлектрической станции инвертор имеет два входных канала по 30 А: ток и напряжение.

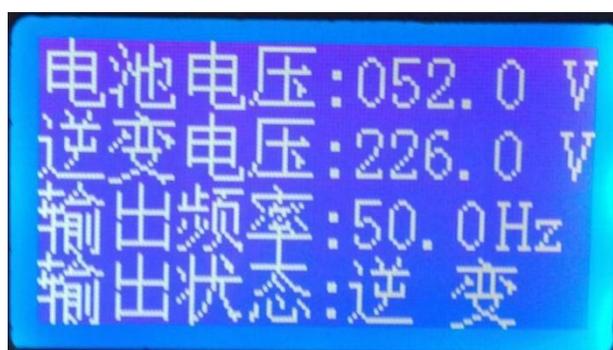


Рисунок 5.14. Показания инвертора производства КНР: входное постоянное и выходное переменное напряжение исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт.

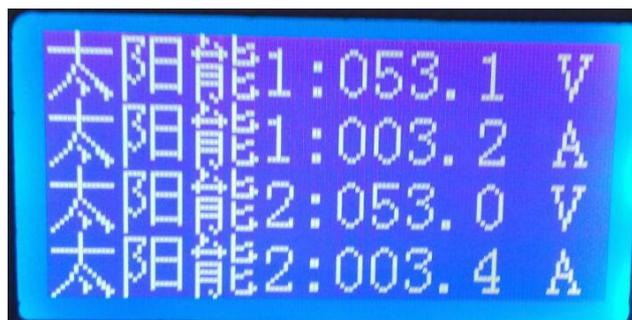


Рисунок 5.15. Показания инвертора производства КНР: входящее постоянное напряжение и сила тока аккумуляторных батарей исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт.

Инвертор, имеет два контроллера заряда с входными каналами по 30 А.

Показание инвертора:

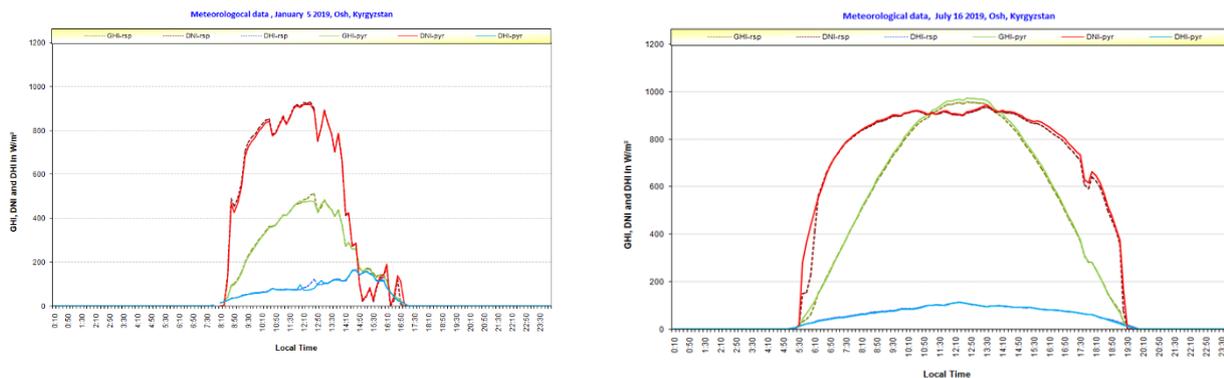
- первый канал: входное напряжение DC – 53,1 V, сила тока 3,2 А;
- второй канал: входное напряжение DC – 53,0 V, сила тока 3,4 А;
- входное напряжение аккумуляторной батареи DC– 52 V;
- выходное напряжение инвертора AC- 226 V; частота- 50 Hz.

Наблюдения эксплуатационных характеристик исследуемой автономной ФЭС основывались на показаниях инвертора. При этом измерялась суммарная солнечная радиация с помощью солнечного датчика- SolSensor – 200, г. Ош, Кыргызская Республика.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Эксперименты на основе автономной ФЭС, на примере медицинского центра при Кыргызско-Узбекском университете с номинальной мощностью 5 кВт (г.Ош, Кыргызской Республики) для обеспечения бесперебойного и эффективного автономного электроснабжения потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети, начали проводиться с октября 2018 года, и проводятся по сей день.

Результаты измерений суммарной солнечной радиации, выборочно за январь и июль месяцы представлены на рис.6, и выработанной мощности автономной ФЭС в среднем за час, сутки и за месяц, в таблице 5.16.



- Красные линии - прямая солнечная радиация
- Пунктирные линии - изменение прямой и диффузной солнечной радиации
- Синий цвет линии - диффузная составляющая солнечной радиации
- Зеленый цвет - суммарная солнечная радиация

Рисунок 5.16. Суммарная солнечная радиация за январь и июль месяцы, г. Ош, Кыргызская Республика.

Как видно из рисунка 5.16, в зимнее время, выбран январь месяц, продолжительность солнечного сияния в среднем составляет 12-13 часов. В летнее время, выбран июль месяц, продолжительность солнечного сияния в среднем составляет 16-17 часов, что существенно влияет на режим работы и на производительность автономной ФЭС.

В таблице 5.2 представлены результаты измерений, выработанной электроэнергии исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт, в среднем за час, день и за месяц.

Таблица 5.2.

Результаты измерений, выработанной электроэнергии исследуемой автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт, в среднем за час, день и за месяц

Месяцы (число дней)	Число часов	Суммарная солнечная радиация в среднем за месяц Вт/м <sup>2</sup> За 2019 г,	Отношение наблюдающейся продолжительности солнечного сияния к возможной, %	Время работы ФЭС, час	Выработка электроэнергии средняя за час кВт/(м <sup>2</sup> *час)	Выработка электроэнергии средняя за сутки кВт/(м <sup>2</sup> *сут)	Выработка электроэнергии средняя за месяц кВт/(м <sup>2</sup> *мес)
за 2018 г.							
Октябрь (31)	744	365	66	7,2	3,2	23,04	714,24
Ноябрь (30)	720	330	50	6,2	3,2	19,84	595,2
Декабрь (31)	744	320	34	5,2	3,2	16,64	515,84
за 2019 г.							
Январь (31)	744	320	38	5,2	3,2	16,64	515,84
Февраль(28)	672	330	39	5,6	3,2	17,92	483,84
Март (31)	744	365	41	5,8	3,2	18,56	575,36
Апрель (30)	720	370	52	6,5	3,2	20,80	624,0
Май (31)	744	490	63	7,3	3,2	23,36	724,16
Июнь (30)	720	570	75	8,0	3,2	25,6	768,0
Июль (31)	744	610	80	9,6	3,2	30,72	952,32
Август (31)	744	580	82	9,4	3,2	30,08	932,48
Сентябрь (30)	720	445	80	8,3	3,2	26,56	796,80
Октябрь (31)	744	360	66	7,0	3,2	22,40	694,40
Ноябрь (30)	720	340	50	6,4	3,2	20,48	614,40
Декабрь (31)	744	325	34	6,6	3,2	21,12	654,72

Из таблицы 5.2 видно, что эффективность работы, исследуемой автономной ФЭС имеет прямую зависимость от времени года и от параметров суммарной солнечной радиации, числа часов и отношения наблюдающейся продолжительности солнечного сияния к возможной. При изменении времени года меняется и поступление суммарной солнечной радиации в связи, с чем изменяется и время работы, что существенно влияет на вырабатываемую автономной ФЭС электроэнергию.

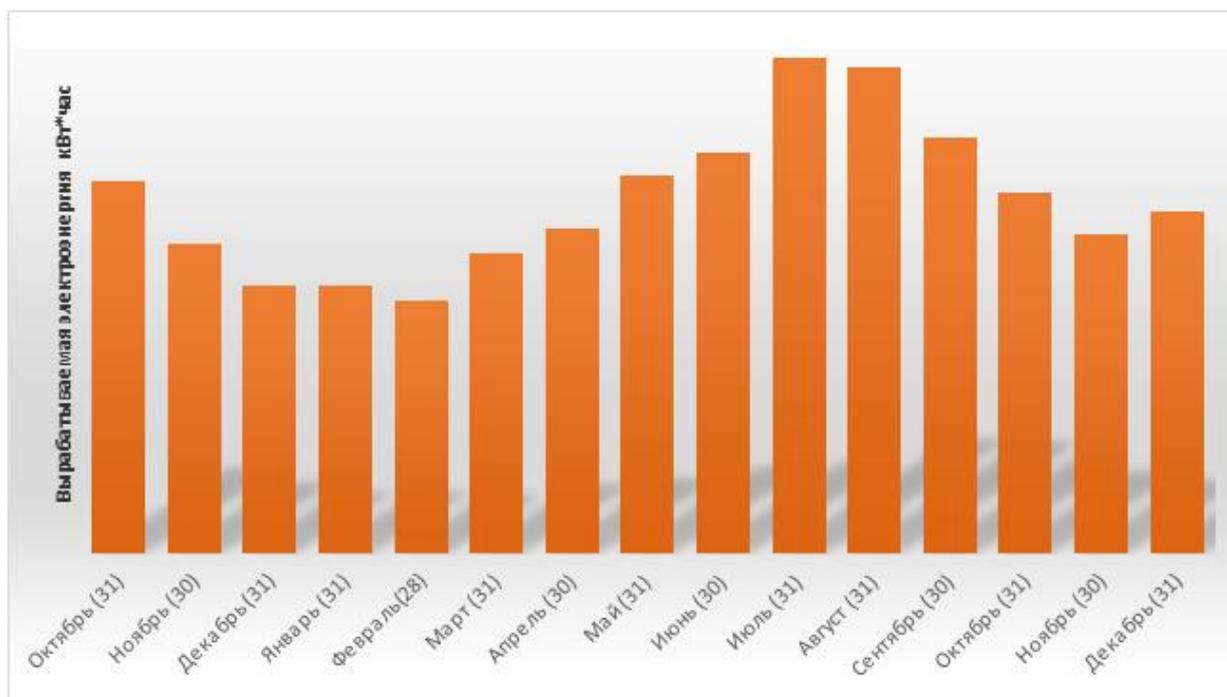


Рисунок 5.17. Вырабатываемая электроэнергия исследуемой автономной фотоэлектрической станции с номинальной мощностью 5 кВт в течение года

Из рисунка 5.17 видно, что в зависимости от времени года меняется выработка электроэнергии автономной ФЭС. При этом максимальная выработка электроэнергии автономной ФЭС приходится на июль и август месяцы.

Результаты экспериментальных исследований автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт показывают:

- для автономного электроснабжения на основе автономной ФЭС использован модульный принцип построения основных её функциональных узлов, при этом в собранной принципиальной схеме автономной ФЭС значительно повышаются показатели надёжности комплектующего оборудования;

- по потребляемой мощности медицинского центра при Кыргызско-Узбекском университете и по своему функциональному назначению в принципиальной схеме автономной ФЭС, установлен двух канальный инвертор (модель «INV-A1-5kW+48V/300A») с номинальной мощностью 5 кВт, при этом соединение ФЭМ произведено по модульному принципу и разделено на две части;

- в двух канальном инверторе использовано два контроллера заряда (модель CN 4860), которые также соединены по модулям, при этом в принципиальной схеме инвертора повышается надёжность и понижается риск перегрева инвертора, что позволяет снизить расход на электроэнергию и повысить эксплуатационный ресурс оборудования;

- при выбранной принципиальной схеме и комплектующем оборудовании автономной ФЭС, при ориентации её на юг, под углом равным широте местности, повышается эффективность работы электрооборудования и надежность системы автономного электроснабжения;

- при смене времени года меняется и поступление суммарной солнечной радиации, и время работы, что существенно влияет на вырабатываемую электроэнергию автономной ФЭС.

Таким образом, нами собранная принципиальная схема для обеспечения бесперебойного и эффективного автономного электроснабжения, в которой использован модульный принцип соединения комплектующего оборудования и проведенные экспериментальные исследования на примере медицинского центра при Кыргызско-Узбекском университете на основе автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт дают возможность масштабного применения у потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети, данной разработки.

## ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Основные выводы и заключения данной работы можно сформулировать следующим образом:

1. Разработанные коллекторы с использованием в качестве конструктивного элемента грунт, имеют теплотехнические, эксплуатационные и экономические характеристики, не уступающие традиционным СВК, что дает основание создавать на их основе СВУ, которые могут быть успешно эксплуатированы для получения горячей воды.

2. Предложенная нестационарная единичная тепловая модель солнечного грунтового коллектора и её программная реализация может быть использована при исследовании, проектировании и оптимизации параметров солнечных коллекторов.

3. Разработанная методика оценки солнечного излучения, проходящего в течение дня через прозрачное ограждение, для солнечных коллекторов с различной ориентацией отличающейся, с учетом влияния облачности атмосферы на прямую и рассеянную составляющие солнечного излучения, может быть использована для прогнозирования режимов работы низкопотенциальных солнечных установок.

4. При достаточной толщине теплоизоляционного материала влияние температуры грунта на режим работы ГСВК не сказывается, а также естественная тепловая волна, распространяющаяся на внутренние слои грунта, не оказывает существенного влияния на температуру грунта – дна ГСВК.

5. Разработанные СВУ на основе грунтовых СВК, располагаемые непосредственно на грунте, позволяют существенно сократить материалоемкость установки и тем самым снизить их стоимость. По стоимости, разработанные СВУ в 2-2,5 раза дешевле и их срок окупаемости в 2,7 раза ниже срока окупаемости традиционных СВУ.

6. Разработанная СВУ, предназначенная для сельской местности и горных районов, является легкой, легко монтируемой, транспортабельной, и приспособлена для эксплуатации в пастбищных условиях.

7. Комплексная схема измерений с применением специального устройства «Sensor box» позволяет одновременно измерять выходные характеристики фотоэлектрических модулей в зависимости от климатических условий.

8. Совместно разработанная автономная фотоэлектрическая станция с номинальной мощностью 5 кВт с учетом хранения данных на территории Кыргызско-Узбекского университета отвечает всем требованиям международных стандартов МЭК.

9. На основе проведенных исследований, в целях гармонизации национальных нормативных документов с международными нормами, правилами и стандартами в строительстве нами разработаны в соавторстве ГОСТы и строительные нормы и правила (СНиП, ШНК) и пособие к ним:

- ШНК -2.04-15-20 «Фотоэлектрические станции»;

- пособие по проектированию энергосберегающих решений фотоэлектрических станций к ШНК 2.04.15-20..

10. Применение байпас диода в работе фотоэлектрических модулей и в том числе фотоэлектрических станций имеет особое место. Использование байпас диода в фотоэлектрических станциях приводит к повышению безопасности и надежности системы электроснабжения, активной мощности и, самое главное, повышению эффективности работы.

11. Результаты проведенных экспериментальных исследований на испытательном стенде по защите от перенапряжений фотоэлектрических модулей в лаборатории МИСЭ показывают, что они соответствуют стандартам МЭК 61215-2:2016 Кристаллические силиконовые наземные фотоэлектрические модули - аттестация конструкции и утверждение типа.

12. Исследовав работу автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт в условиях Кыргызстана, можно сказать, что нами собранная принципиальная схема для обеспечения бесперебойного и эффективного автономного электроснабжения, в которой использован модульный принцип соединения комплектующего оборудования и проведенные экспериментальные исследования на примере медицинского центра при Кыргызско-Узбекском университете на основе автономной ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт дают возможность масштабного применения у потребителей горных и сельских регионов, отдаленных от общей распределительной сети, данной разработки.

## ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- СЭ - солнечная энергия;
- СР – солнечная радиация;
- СВК – солнечный водонагревательный коллектор;
- ГСВК – грунтовый солнечный водонагревательный коллектор;
- СВУ – солнечная водонагревательная установка;
- СФЭС – солнечные фотоэлектрические станции;
- ФЭС – фотоэлектрическая станция;
- ФЭМ – фотоэлектрические модули;
- МЭК - международная электротехническая комиссия;
- $U_{\text{общ}}$  – общее напряжение цепи;
- $I_{\text{общ}}$  - сила тока;
- T – коэффициент светопропускания;
- R – коэффициент отражения;
- A – коэффициент поглощения;
- G – производительность СВК и СВУ;
- S – площадь приемной поверхности коллектора;
- $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;
- a – коэффициент температуропроводности;
- $\rho_0$  – плотность грунта;
- t – температура;
- Q – тепловой поток;
- $\eta$  - коэффициент полезного действия;
- $\tau$  - время.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии М.:Мир,1977.- 420 с.
2. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М.: Стройиздат, 1986.-208 с.
3. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. – Ташкент:, Фан, 1988. -288 с.
4. Байрамов Р.Б., Ушакова А.Д. Солнечные водонагревательные установки.- Ашхабад.: Изд-во Ылым, 1987.-157с.
5. Клычев Ш.И., Исманжанов А.И., Бахрамов С.А., Захидов Р.А., Самиев М. Динамика суточных температур в солнечных "горячих ящиках" // Гелиотехника, - Ташкент, 2007. - № 1. –С. 29-31.
6. Клычев Ш.И., Бахрамов С.А., Исманжанов А.И., Дудко Ю.А., Самиев М. Теплотехническая эффективность двухканального солнечного воздухонагревателя // Гелиотехника, - Ташкент, 2008. - №3. -С. 27-31.
7. Леонтьев А.И. Теория тепломассообмена. М.: Выс. школа, 1979.- 250 с.
8. Клычев Ш.И., Клычев З.Ш. Программа расчета температур и кпд солнечного воздухонагревателя (СВК) на основе распределенной трехслойной нестационарной модели теплообмена – СВК ЗНМ. // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 20080160. 28.08. 2008 г.
9. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Самиев К.А. Коэффициент пропускания светопрозрачной изоляции плоских гелиоустановок диффузной солнечной радиации.// Гелиотехника, - Ташкент, 2007. - №1. – С.11-13.
10. Рзаев П.Ф., Салманова Ф.А., Бабаев А.Б. Некоторые особенности вхождения солнечной радиации через прозрачное ограждение домов с южной ориентацией в зимний период года. // Гелиотехника, - Ташкент, 2007. - №1. –С. 62-65.
11. Хайриддинов Б.Э. Блочная теплица. Ташкент.: Фан, 1982. - 46 с.
12. Садыков Г.А., Вардиашвили А.Б. Гелиотеплица и их тепловой расчет. Ташкент.: Фан, 1977.-79 с.
13. Вардиашвили А.Б. Теплообмен и гидродинамика в комбинированных теплицах с субстратом и аккумулярованием тепла. Ташкент.: Фан, 1990, -196с.
14. Раббимов Р.Т., Умаров Г.Я., Захидов Р.А. Аккумуляция солнечной энергии в песчано-гравийном грунте // Гелиотехника, - Ташкент, 1971. - №5. –С. 57-64.
15. Махкамов Х.Т., Хайриддинов Б.Э., Ким В.Д. Гелиолимонарий углубленного типа с аккумулятором тепла // Гелиотехника, - Ташкент, 2001. -№1. – С. 33-36.
16. Хайриддинов Б.Э., Махкамов Х.Т., Ким В.Д. Оптимизация конструкции Гелиолимонария // Гелиотехника, - Ташкент, 2000. - №3. –С. 30-35.

17. Махкамов Х.Т. Исследование теплового режима гелиолимонария траншейного типа // Гелиотехника, - Ташкент, 1998. - №4. -С. 55-59.
18. Рзаев П.Ф. Вхождение солнечной радиации в гелиотеплицу. // Гелиотехника, - Ташкент, 1965. - №4. -С. 43-48.
19. Ачилов Б.М., Уринов А.Ш. Результаты исследований опытной сушилки-теплицы в зимних условиях. // Гелиотехника, - Ташкент, 1989. - №2. - С 75-78.
20. Ким В.Д., Хайриддинов Б.Э., Махкамов Х.Т. Тепловой баланс гелиолимонария углубленного типа // Гелиотехника, - Ташкент, 2001. -№4. -С.25-31.
21. Вардиашвили А.Б., Ким В.Д., Мурадов М. Солнечная теплица полуцилиндрического типа с пленочным покрытием // Гелиотехника, - Ташкент, 1982. - №1. -С.50-53.
22. Рыбакова Е.Л., Хайриддинов Б.Э. Исследование теплообменных процессов подпочвенного галечного аккумулятора тепла в гелиотеплице-сушилке // Гелиотехника, - Ташкент, 1990. -№5. -С.20-23.
23. Ким М., Умаров Г.Я., Авезов Р.Р. Температурный режим и аккумулярование тепла в пленочных гелиопарниках // Гелиотехника, - Ташкент, 1973.-№1. -С. 50-55.
24. Авезов Р.Р., Ниязов Ш.К. Исследование теплового режима защищенного грунта с низкотемпературным подогревающим слоем // Гелиотехника, Ташкент, 1978.- №1. - С. 49-54.
25. Рыбакова Л.Е., Гурбанов Н. Температурный режим воздушной среды теплицы при солнечном обогреве // Гелиотехника, - Ташкент, 1975. -№5. -С. 34-38.
26. Бейриев А.Ч., Пенджиёв А.М. Регулирование микроклимата с применением теплонаносных систем в гелиотеплице по выращиванию тропических культур в Туркменистане // Гелиотеплицы, - Ташкент, 2004. -№3. -С. 30-35.
27. Хайриддинов Б.Э., Ким В.Д., Холмирзаев Н.С. Моделирование теплообменных процессов в гелиосушилке с подпочвенным аккумулятором тепла // Гелиотехника, - Ташкент, 2006. -№2. - С. 41-46.
28. Телкес М. Опреснение с помощью солнечной энергии. Сб. «Исследования по использованию солнечной энергии», М.: 1957. - 421 с.
29. Ачилов Б.М., Вардиашвили А., Умаров Г.Я. и др. Исследование солнечных опреснителей наклонно-ступенчатого типа // Гелиотехника, - Ташкент, 1971. - №5. -С. 65-69.
30. Норов Э.Ж., Ачилов Б.М., Жураев Т.Д. Результаты испытаний солнечных пленочных опреснителей // Гелиотехника, - Ташкент, 1975.- №№ 3-4. - С. 130-132.
31. Клычев Ш.И., Эркинбаева Г., Бахрамов С.А., Исманжанов А.И. Теплотехнические характеристики солнечных парниковых опреснителей // Гелиотехника,- Ташкент, 2002. - №2. - С 38-43.
32. Хатамов О.С., Авезов Р.Р. Определение продолжительности времени зарядки и разрядки галечного (насадочного) аккумулятора солнечного тепла // Гелиотехника, - Ташкент, 1980. №3. -С. 48-52.

33. Байрамов Р., Билишов Е., Рыбакова Л.Е., Анализ температурного режима гелиотеплицы с грунтовым аккумулятором тепла // Гелиотехника, - Ташкент, 1979. - №2. -С. 36-39.
34. Байрамов Р., Гурбанов Н., Рыбакова Л.Е. Аккумуляторы тепла в солнечных теплицах // Гелиотехника, - Ташкент, 1975. - №5. -С. 39-43.
35. Crandell A.C. Earth – Heat-Pump Power and works // Engineering, 111. V.92, - №489, 1947.
36. Зеeman М.М. Климат теплиц и его регулирование. М.: Сельхозлит., 1961. -158с.
37. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р. Влияние коэффициентов ослабления излучения светопрозрачного покрытия и отражения излучения лучепоглощающей поверхности теплообменной панели на коэффициент лучистого теплообмена в системе «светопрзрачное покрытие-лучепоглощающая теплообменная панель» плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2009. - №2. - С. 13-15.
38. Аvezова Н.Р. Упрощенная методика определения теплотехнических характеристик плоских солнечных водонагревательных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2010. -№3. – С. 10-13.
39. Вардиашвили А.Б., Мурадов М., Хасанов Э., Вардиашвили А.А. и др. Натурные испытания гелиотеплицы с подпочвенным орошением и аккумулярованием тепла // Гелиотехника, - Ташкент, 1982. -№4. -С. 40-43.
40. Салиева Р.Б. Принципы расчета аккумулирующих устройств в солнечных установках // Гелиотехника, - Ташкент, 1973. -№2. -С. 53-59.
41. Рзаев П.Ф., Курбанова Р.Б. Квазистационарные процессы переноса тепла в грунтовом аккумуляторе гелиотеплицы // Гелиотехника, - Ташкент, 1966. - №1. – С. 44-46.
42. Садыков Т.А., Ким М., Шарафи А.Ш. Расчет радиации, входящей в гелиопарник полуцилиндрической формы // Гелиотехника,- Ташкент, 1972. - №3. - С.61-67.
43. Аvezов Р.Р., Самиев К.А. Методика расчета оптических характеристик двух- и трехслойного светопрозрачных ограждений инсоляционных пассивных систем солнечного отопления // Гелиотехника, - Ташкент, 2006. - №3. -С. 71-78.
44. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Самиев К.А. Влияние многократного внутреннего отражения проходящего солнечного излучения между границами раздела на температурный режим светопрозрачных покрытий корпуса плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2008. №2 . –С. 21- 28.
45. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р. Тепловая эффективность системы «светопрзрачное покрытие - лучепоглощающая теплообменная панель» плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2008. №3 . – С. 44-49.
46. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Лутпуллаев С.Л., Самиев К.А., Файзуллаев Б.С. Тепловая мощность внутреннего источника в светопрозрачных покрытиях плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2007.- №3. –С.18-24.

47. Аvezов Р.Р., Аvezова Н.Р., Самиев К.А. Эффективная отражательная способность системы «Светопрозрачное покрытие - лучепоглощающая панель» плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2008. -№2. –С. 45-50.
48. Марков И.Е., Бондаренко Н.П., Гаврищук В.И. Особенности радиационного режима рассадных теплиц с различными полимерными пленками // Гелиотехника, - Ташкент, 1987. - №4. -С. 40- 44.
49. Харченко Н.В., Швачко Н.А. Экспериментальное исследование вакуумированного коллектора солнечной энергии для гелиосистем теплоснабжения // Гелиотехника, Ташкент, 1991. - №4. - С. 64-70.
50. Андерсон Б. Солнечная энергия: (Основы строительного проектирования). Пер. с англ. Под. ред. Ю.Н. Малевского.-М.: Стройиздат., 1982.-375 с.
51. Захидов Р.А. Технология и испытания гелиотехнических концентрирующих систем. Ташкент.: Фан, 1978. - 184с.
52. Аvezова Н.Р. Тепловая эффективность плоских солнечных абсорбционных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2004. - №4. -С.38-40.
53. Клычев Ш.И. Моделирование приемно-концентрирующих устройств солнечных теплоэнергетических установок. Дис.... д.т.н. – Ташкент.: ФТИ АН РУз., 2004. - 278с.
54. Клычев Ш.И., Абдурахманов А.А., Бахрамов С.А., Эффективность солнечных коллекторов с селективными приемниками, Гелиотехника, 2006, №2, с. 36-40.
55. Самиев М. Эффективность солнечных пластинчатых воздухонагревателей // Гелиотехника, - Ташкент, 2008. №4 . –С. 32-36.
56. Захидов Р.А., Киргизбаев Д.А., Богомоллов А., Клычев Ш.И. Определение температурного поля полупрозрачных материалов при нагреве их оптическим излучением // Гелиотехника, 1987. № 6. -С 35-41.
57. Клычев Ш.И., Исманжанов А.И., Бахрамов С.А., Дудко Ю.А., Самиев М. Конвективный теплообмен в прослойках солнечных «горячих ящиков» // Гелиотехника, - Ташкент, 2008. №2 . –С. 41 - 45.
58. Аvezова Н.Р., Аvezов Р.Р. Влияние коэффициентов ослабления излучения светопрозрачного покрытия и лучепоглощения поверхности теплообменной панели на оптимальную толщину замкнутой воздушной прослойки системы «светопрозрачное покрытие – лучепоглощающая теплообменная панель» плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2009. -№1. –С. 40-45.
59. Ким М., Зияев Т. Методика расчета суммарной солнечной радиации входящей в наклонный гелиопарник // Гелиотехника, - Ташкент, 1972. - №4. -С.56-59.
60. Чудновский А.Ф. Физика теплообмена в почве. Л.: ОГИЗ, 1948. -219 с.
61. Вейнберг В.В. Оптика в установках для использования солнечной энергии. М.: Оборонгиз., 1959. - 268 с.

62. Заседателев И.Б., Шифрин С.А. Изменение оптических характеристик светопрозрачных покрытий // Гелиотехника, - Ташкент, 1987. - №4. -С.37-40.
63. Ландсберг Г.В. Оптика. Учебн. для вузов. М.: Высшая школа, 1972. -423 с.
64. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Орлова Н.И. Сопоставление эксплуатационных характеристик некоторых типов солнечных коллекторов и водонагревательных установок в условиях Узбекистана // Гелиотехника,- Ташкент, 2007. - №1. –С.14-20.
65. Авезов Р.Р., Авезова Н.Р., Самиев К.А. Расчет тепловой мощности внутреннего источника в частично лучепоглощающем слое сложных светопрозрачных ограждений инсоляционных пассивных систем солнечного отопления // Гелиотехника, - Ташкент, 2007. -№2. –С. 42-48.
66. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. М.: Наука, 1967. – 650 с.
67. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Физматиз., 1962.- 274с.
68. Куликов Т.А.Тепловые характеристики серозема и сазовой почвы. Изд-во Кирг. с.-х. ин-та, Фрунзе, 1958. - 147с.
69. Голянд М.М. Расчеты и испытания тепловой изоляции. М.: Гостоптезиздат., 1961. – 316 с.
70. Расаходжаев Б.С. Эксплуатационные характеристики водонагрева-тельных установок на основе грунтовых солнечных коллекторов // Наука. Образование. Техника., - Ош, 2009. -№2. -С. 221-223.
71. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 32. Киргизская СССР. Л.: Гидрометеиздат., 1989. - 375с.
72. Исманжанов А.И., Мурзакулов Н.А., Мирзахалилов Б.Б. «Оценка техника экономических показателей установок на нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии» // Известия, - Ош, 2003. - №1. - С. 142-145.
73. Яксубаев К.Д., Койшиева Т.К. Статистическая точность стационарной модели плоского солнечного коллектора // Гелиотехника, - Ташкент, 1992. - №1. - С. 34-37.
74. Левинский Б.М., Смирнов С.И., Смирнов С.В. Оптимизация геометрии абсорбера плоского солнечного коллектора // Гелиотехника, - Ташкент, 1990. - №3. - С. 3-7.
75. Исманжанов А.И., Расаходжаев Б.С. Облученность грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов с различной ориентацией // Наука. Образование. Техника., - Ош, 2002. -№1.-С. 96-99.
76. Исманжанов А.И., Расаходжаев Б.С., Абдырахман уулу К. К методике облученности теплоприемников плоских солнечных коллекторов в различных условиях облачности атмосферы // Наука. Образование. Техника., - Ош, 2002. -№2. - С.88-90.

77. Исманжанов А.А., Самиев М., Бахрамов С.А., Клычев Ш.И. Тураева У.П. О тепловой инерционности солнечных низкотемпературных установок. // Наука. Образование. Техника., - Ош, 2008. - №3 . – С. 196 -202.

78. Абдурахманов А.А., Тураева У.П., Клычев Ш.И. Методика определения интегральной излучательной способности приемников солнечного излучения // Гелиотехника, - Ташкент, 2009. - №2. –С.62-64.

79. Клычев Ш.И. Перераспределение потока излучения в оптической среде с плоской границей // Гелиотехника, - Ташкент, 2010. - №3. –С. 77-79.

80. Аvezов Р.Р., Дыскин В.Г., Аvezова Н.Р. Тепловая оптимизация толщины замкнутой воздушной прослойки системы «лучепоглощающая теплообменная панель-светопрозрачное покрытие» плоских солнечных водонагревательных коллекторов // Гелиотехника,- Ташкент, 2007. - №4. –С.14-20.

81. Исманжанов А.И., Расаходжаев Б.С. Разработка и исследование эксплуатационных характеристик грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов / Сб. науч. трудов Кыргызско-Узбекского университета. – Ош, 2001. - С. 223-227.

82. Расаходжаев Б.С. Исследование технико-экономических показателей солнечных водонагревательных установок на основе грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов // Международный семинар по освоению солнечной энергии в Центральной Азии, КНР, СУАР, - Синьцзян, 2010. - С. 171-173.

83. Расаходжаев Б.С. Исследование эксплуатационных характеристик солнечных водонагревательных установок на основе грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов // Наука. Образование. Техника., - Ош, 2006. - №3. - С. 76-79.

84. Михеев М.А., Михеева И.М., Основы Теплопередачи. М.: Энергия, 1997. -380 с.

85. Клычев Ш.И., Абдурахманов А.А., Бахрамов С.А. Эффективность солнечных коллекторов с селективными приемниками // Гелиотехника, - Ташкент, 2006. - №2. -С.36-40.

86. Умаров Г.Я., Аvezов Р.Р., Ниязов Ш.К. К определению амплитуды колебания температуры поверхности почвы и количества аккумулированного солнечного тепла в неотапливаемом защищенном грунте // Гелиотехника, - Ташкент, 1977. -№5. -С. 61-66.

87. Исманжанов А.И, Расаходжаев Б.С. Исследование сравнительных теплотехнических характеристик грунтовых солнечных водонагревательных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 2008. -№2. - С. 28-32.

88. Клычев Ш.И., Эркинбаева Г., Бахрамов С.А., Исманжанов А.И. Теплотехнические характеристики солнечных парниковых опреснителей // Гелиотехника, - Ташкент, 2002. -№2. – С. 38-43.

89. Вартамян А.В. Составной цилиндрический концентратор для равномерного двухстороннего облучения плоского приемника // Гелиотехника, - Ташкент, 1998. - №5. - С. 42-44.

90. Захидов Р.А., Аvezов Р.Р., Кивалов Н.К., Таджиев У.А. Тепловая оптимизация параметров плоских солнечных коллекторов с плоскорифленной лучепоглощающей панелью из алюминиевых сплавов // Гелиотехника, - Ташкент, 1999. - №4. - С. 65-70.

91. Аvezов Р.Р., Алимов А.К., Дядик А.А. Кахаров М.К. Расчет эффективности солнечного коллектора с параболоцилиндрическими концентраторами // Гелиотехника, - Ташкент, 1993. - №3. - С. 20-24.

92. Вартамян В.В. Цилиндрический концентратор для равномерного облучения плоского приемника // Гелиотехника. - Ташкент, 1999. - №1. - С. 56-62.

93. Мойсеенко В.В., Смирнов С.В. Численное исследование тепловых потерь солнечных коллекторов при поглощении излучения прозрачным покрытием // Гелиотехника. – Ташкент, 1990. - №3. - С. 7-9.

94. Аvezов Р.Р., Азимов О. Эффективность аккумуляторов тепла пассивных систем солнечного отопления. // Гелиотехника, - Ташкент, 1991. - №4. - С. 54-57.

95. Аvezов Р.Р., Баадж А.К., Аvezова Н.Р. Эффективность абсорбционных солнечных коллекторов с цилиндрическими теплоприемниками, совмещенными с баками-аккумуляторами горячей воды // Гелиотехника, – Ташкент, 1995. - №5. - С. 89-94.

96. Хожиев К.Б. Сравнение эффективности солнечных коллекторов с пластмассовыми и металлическими теплоотводящими каналами // Гелиотехника, – Ташкент, 1991. - №3. - С. 46-48.

97. Мышко Ю.Л., Мойсеенко В.В., Смирнов С.И., Смирнов С.В. Оптимизация толщины воздушного зазора и тыльной тепловой изоляции плоских солнечных коллекторов // Гелиотехника, - Ташкент, 1991. - №1. - С. 15-17.

98. Исманжанов А.И., Султанов С.К., Расаходжаев Б.С., Саткулов Т.Т., Мамасаидов М.М. Разработка солнечного водонагревательного коллектора из альтернативных материалов // Наука. Образование. Техника., - Ош, 2007. -№4.-С. 106-107.

99. Исманжанов А.И. Возобновляемая и нетрадиционная энергетика: Толковый словарь терминов. - Ош.: Кырг.-Узб. универ., 2009.-158 с.

100. Обозов А.Дж., Ботпаев Р.М. Возобновляемые источники энергии: Учебное пособие для ВУЗов.- Б., Илим, 2010.-270 с.

101. Клычев Ш.И., Мухаммадиев М.М., Аvezов Р.Р., Потаенко К.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Ташкент.: Fan va texnologiya, 2010. – 192 с.

102. Н.А. Матчанов, А.М. Мирзабаев, Б.Р. Умаров, М.А. Маликов, А.У. Камолитдинов, К.А. Бобожонов. Влияние внешних факторов на выходные

характеристики фотоэлектрических модулей в условиях Ташкента. Гелиотехника, 2016, №4, стр. 20–27.

103. Masakatsu Ikisawa, Akihiko Nakano, Sanekazu Igari, Hisaei Terashima. Outdoor exposure tests of photovoltaic modules in Japan and overseas. *Renewable Energy*, Volume 14, Issues 1–4, May–August 1998, Pages 95–100.

104. IEC 61215-2:2016 МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАЗЕМНЫЕ Оценка конструкции и утверждение типа. Часть 2: Процедуры испытаний.

105. <https://www.fluke.com/en-us/products/thermal-imaging/visual-ir-thermometers>.

106. IEC 60721-2-1:2013 Классификация внешних воздействующих факторов. Часть 2-1: Природные внешние воздействующие факторы. Температура и влажность.

107. O'z DSt/IEC 61215-1: 2018 МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАЗЕМНЫЕ Оценка конструкции и утверждение типа. Часть 1: Требования к испытаниям.

108. B. L. Garner, and P. J. Papillo Accelerated Outdoor Exposure Testing in Evaluation of Ultraviolet Light Stabilizers for Plastics. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 1962, 1 (4), pp 249–253

109. IEC 61730-1:2016 МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ. Оценка безопасности. Часть 1: Требования к конструкции.

110. <https://www.uzbekenergo.uz>.

111 Minh Quan Duong, H.H. Nguyen, Sonia Leva, Marco Mussetta, Gabriela N Sava, Sorina Costinas, “Optimal bypass diode configuration for PV arrays under shading influence” in 2017 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering, 2017, p. 476.

112. Minh Quan Duong, D.T. Sen, D.V. Dong, “Modeling solar photovoltaic module by using PSpice software,” *Journal of Science and Technology* – University of Danang, no. 2, October 2016, pp. 179–182.

113. E. Díaz-Dorado, A. Suárez-García, C. Carrillo, and J. Cidrás, “Influence of the shadows in Photovoltaic systems with different configurations of bypass diodes,” in *SPEEDAM*, October 2010, pp. 134–139.

114. Santolo Daliento, Fabio Di Napoli, Pierluigi Guerriero, Vincenzo d’Alessandro, “A modified bypass circuit for improved hot spot reliability of solar panels subject to partial shading,” *Sol Energy*, no. 134, 2016, pp. 211–218.

115. Santiago Silvestre, Chouder Aissa, “Effects of shadowing on Photovoltaic module performance,” Master’s thesis in University of GAVLE, June 2015.

116. EC TS 62916:2017. Edition 1.0 (2017-04-10) Photovoltaic modules - Bypass diode electrostatic discharge susceptibility testing.

117. IEC 62979:2017. Edition 1.0 (2017-08-10) Photovoltaic modules - Bypass diode - Thermal runaway test.

118. IEC 61215-2:2016 МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАЗЕМНЫЕ. Оценка конструкции утверждение типа. Часть 2: Процедуры испытаний.

119. O'z DST/IEC 61215-1-2018 МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАЗЕМНЫЕ Оценка конструкции и утверждение типа. Часть 1: Требования к испытаниям.

120. IEC 61730-1:2016 МОДУЛИФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ. Оценка безопасности. Часть 1: Требования к конструкции.

121. Матчанов Н.А., Расаходжаев Б.С., Ахадов Ж.З., Мирзаев А.А., Камолиддинов А.У., Ахмаджонов У.З. Комплексная схема измерений для определения характеристик фотоэлектрических модулей. Сборник статей международного научно-практического семинара в рамках проекта “RENES: Разработка магистерской программы по возобновляемым источникам энергии и устойчивой окружающей среды” 26-29 апрель, Программы Эрасмус+ Европейского союза. Гулистон. 2019г. С-75-79.

122. Клычев, Ш.И. Исследования по определению коэффициентов светопропускания прозрачного ограждения [Текст] / Б.С. Расаходжаев, З.К. Эрмекова. Гелиотехника. Ташкент. 2018. №6. - С. 84-87.

123. Исманжанов, А.И. Разработка и создание опытно-экспериментальных установок для сушки сельхозпродуктов с помощью солнечной энергии [Текст] / Б.С. Расаходжаев, Ж.Ч. Райымбаев, И.И. Асанбоев. Наука. Образование. Техника. №2. Ош. 2018. С – 12-16.

124. Расаходжаев, Б.С. Социально-экономические аспекты использования возобновляемых источников энергии в Кыргызстане [Текст] / О.У. Дилишатов, И.И. Асанбоев, Ж.Ч. Райымбаев. Труды международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения – 17: новые импульсы науки и духовности в мировом пространстве» Шымкент. 2019. с- 187-190.

125. Dzhumaev, A.Ya. Analysis of the effect of temperature on the energy parameters of a photovoltaic solar station [Текст] / [К.А. Saryev] “European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences”. Proceeding of the 7th International scientific conference. (25th May 2015). „East West“ Association for Advanced Studies on Higher Education. GmbH. Vienna. 2015, — p . 82—88.

126. IEC 61215-2:2016. МОДУЛИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАЗЕМНЫЕ Оценка конструкции и утверждение типа. Часть 2: [Текст] / Процедуры испытаний.

127. IEC 60721-2-1:2013. Классификация внешних воздействующих факторов. Часть 2-1: [Текст] / Природные внешние воздействующие факторы. Температура и влажность.

128. Исманжанов А.И., Дилишатов О.У. «Эксплуатация низкопотенциальных солнечных теплоэнергетических установок в горных условиях», Бишкек. Информационно-издательский центр «Илим», 2017. 128с.

129. Расаходжаев Б.С., Zhao Mingzhi, Райымбаев Ж.Ч., Асанбаев И.И. «Разработка и исследование автономной фотоэлектрической станции мощностью 5 кВт в условиях Кыргызстана», *Инновация в жизнь*. 2019. №4. –С 212-218.

130. Отчет по инновационному проекту БВ-Итех-2018-94 «Организация сертификационной лаборатории для проведения испытаний солнечных фотоэлектрических панелей», Министерство инновационного развития. Ташкент. 2019. 107 стр.

131. N.R. Avezova, E.Yu. Rakhimov, and J.O. Izzatillaev, “Resource indicator used for solar photovoltaic plants in Uzbekistan part 1”, *Applied Solar Energy*, vol. 54, no. 4, pp. 273-278, 2018. DOI: 10.3103/S0003701X18040023.

132. N.A. Matchanov, A.M. Mirzabaev, B.R. Umarov, et al, “Experimental Studies of the Monocrystal and Polycrystal Characteristics of Silicon Photovoltaic Modules under Environmental Conditions of Tashkent”, *Applied Solar Energy*, vol. 53, no. 1, pp. 23-30, 2017. DOI: 10.3103/S0003701X17010108.

133. R.A. Muminov, M.N. Tursunov, and O.F. Tukfatullin, “Temperature effect on the current-voltage characteristics of single-crystalline Si photovoltaic arrays”, *Applied Solar Energy*, vol. 43, no. 4, pp. 211-213, 2007. DOI: 10.3103/S0003701X07040044.

134. M.N. Tursunov, R.A. Muminov, U.Kh. Gaziev, et al, “Development of a photoelectric plant for performance under hot climate conditions”, *Applied Solar Energy*, vol. 42, no. 3, pp. 8-10, 2006.

135. P. Löper, D. Pysch, A. Richter, et al, “Analysis of the temperature dependence of the open-circuit voltage”, *Energy Procedia*, vol. 27, pp. 135-142, 2012. DOI: 10.1016/j.egypro.2012.07.041.

136. R.R. Kobulov, N.A. Matchanov, B.R. Umarov, “Features of Load Current-Voltage Characteristics of a Monocrystalline Silicon Solar Cell at Various Levels of Solar Illuminations”, *Apply Solar Energy*, vol. 53, no. 4, pp. 297-298, 2017. DOI: 10.3103/S0003701X17040089.

137. S. Mekhilef, R. Saidur, and M. Kamalisarvestani, “Effect of dust, humidity and velocity on efficiency of photovoltaic cells”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 2920-2925, 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.012.

138. Абдуллаев Э.Т., Риззаев Ж.Н. «Влияние загрязнения на работу фотоэлектрических станций», *Гелиотехника*. 2016. №4. –С.70-71.

139. Santiago Silvestre, Chouder Aissa, “Effects of shadowing on Photovoltaic module performance,” Master’s thesis in University of GAVLE, June 2015.

140. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып.32. Кыргызская ССР / Л., Гидрометеоиздат, 1989, 374.

141. Кыргызстан: окружающая среда и природные ресурсы для устойчивого развития. Отчет Государственного агентства по охране окружающей среды и

лесному хозяйству при Правительстве Кыргызской Республики. Программа развития ООН в Кыргызской Республике. Бишкек, 2007, 92с.

142. Человеческое развитие в горных регионах Кыргызской Республики. Национальный отчет по человеческому развитию – 2002. Программа развития ООН в Кыргызстане. Национальный центр развития горных регионов Кыргызской Республики. Бишкек, 2002, 86с.

143. Исманжанов А.И. Возобновляемая энергетика. Учебное пособие для вузов. Ош, издательство Кыргызско-Узбекского университета . 2015. 234с.

144. Исманжанов А.И., Клычев Ш.И., Расаходжаев Б.С., Эрмекова З.К. «Исследования по определению коэффициентов светопропускания прозрачного ограждения», Гелиотехника. Ташкент. 2018. №6. - С. 84-87.

145. Исманжанов А.И. , Расаходжаев Б.С., Султанов С.К. «Солнечные водонагревательные установки для горных и сельских регионов Кыргызстана», Инновация в жизнь. 2016. №1.- С. 6-13.

146. Тукфатуллин О.Ф. «Выбор оптимального угла наклона фотоэлектрических панелей с однопозиционной фиксацией стационарных фотоэлектрических систем в зависимости от географической широты и инсоляции в течение года», Гелиотехника. Ташкент. 2016. №4. - С. 17-20.

147. Орлов С.А., Клычев Ш.И. «Компенсация погрешностей осей вращения азимутально-зенитальной конструкции концентраторов при программном слежении за солнцем», Гелиотехника. Ташкент. 2017. №4. – С.46-50.

148. Киселева В.С., Попель О.С., Тарасенко А.Б. «Оценка эффективности создания сетевых фотоэлектрических станции в некоторых районах Центрального Азии и Закавказья» Гелиотехника. Ташкент. №2. –С.13-18.

149. Мирзабаев А.М., Канонеров В.П., Махкамов Т.А., Сытдыков О.Р., Мырзабаев Ш.М. «Фотоэлектрическая установка для электроснабжения базовых станций сотовых компаний», Гелиотехника. Ташкент. 2018. №1. –С.47-51.

150. Саъдуллаева Ш.Э., Умаров Б.Р., Ражабов А.Э. «Подключение фотоэлектрических станций к низковольтным электрическим сетям: технические особенности», Гелиотехника. Ташкент. 2018. №4. –С. 11-16

151. Matchanov N.A., Mirzabaev A.M., Umarov B.R., Malikov M.A., Kamoliddinov A.U., Bobozhonov K.A. «Experimental studies of the monocrystal and polycrystal characteristics of silicon photovoltaic modules under environmental conditions of Tashkent», Applied Solar Energy. – 2017. – Vol. 53.– No. 1. – pp. 23-30.

152. Клычев Ш.И. Концентраторы солнечного излучения – моделирование и расчет. LAP. Lambert Academic Publishing. 2016. P.195.

153. Малевский Ю.Н. Солнечная энергетика. – М.: Мир, 2001.- С.

154.Койшиев Т.К. Солнечные электростанции: Энергетика системы концентратор приемник и математические модели. Автореферат док.техн.наук. - Ташкент: - 27с.

155.МЭК 60364-7-712:2002 Электроустановки низковольтные. Часть 7-712. Требования к специальным электроустановкам или местам их расположения. Системы питания с использованием фотоэлектрических (ФЭ) солнечных батарей.

156.IEC 61683:1999. - "Photovoltaic systems - Power conditioners - Procedure for measuring efficiency".

157.IEC 62109-1. - Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 1: General requirements.

158.IEC/TS 62548:2013. Батареи фотоэлектрические. Технические условия.

*Авторы выражают благодарность и признательность профессорско-преподавательскому составу и сотрудникам кафедры Компьютерные технологии и энергетика Кыргызско-Узбекского университета Министерство образования и науки Кыргызской Республики и руководству и всем научным сотрудникам коллектива Международного института солнечной энергии Академии Наук Республики Узбекистан.*



**Памяти Исманжанова Анваржана Исманжановича  
(12.08.1948г. – 23.10.2018г.)  
In memory of Ismanzhanov Anvarzhan Ismanzhanovich  
(08/12/1948 - 10/23/2018)**

Известный ученый в области преобразования и использования солнечной энергии. Исманжанов Анваржан Исманжанович родился 12 августа, 1948 года в с. Тулейкен Карасуйского района Ошской области в семье рабочих.

В 1970 году после окончания средней школы поступил в Ошский Государственный педагогический институт по специальности «Общая физика».

В 1974 году поступил в аспирантуру в Физико-технический институт Академии Наук Республики Узбекистан.

Исманжанов Анваржан Исманжанович работал инженером, старшим инженером, заведующим сектором, главным конструктором Научно-производственного объединения «Академприбор» АН РУз, заведующим лабораторией, заведующим отделом Гелиофизики Научно-исследовательского центра Гвинеи в г. Конакри, научным сотрудником Института морских солей и химических соединений в г. Бхавнагар (Индия), старшим преподавателем, доцентом, профессором ОшТУ, заведующим кафедрой, профессором, в 1999г. – деканом Факультета Энергетики и информационных систем, в 2005 году - на должности ректора Кыргызско-Узбекского университета.

Являлся основателем, директором научно-производственного объединения «Альтерэнерго» при Кыргызско-Узбекском университете.

Исманжанов Анваржан Исманжанович руководил многими международными проектами, такими как ТЕМПУС-ТАСИС, ERASMUS+ и др. Неоднократно бывал в научных командировках в университетах Российской Федерации, Казахстана, Узбекистана, Украины, Турции, Греции, Германии, Австрии, Италии.

В 2015-2016 годах работал в научно-исследовательском центре NASA в Соединенных штатах Америки, в Калифорнийском университете в Санта-Крузе-город в штате Калифорния.

Исманжанов Анваржан Исманжанович являлся доктором технических наук, профессором, академиком Инженерной Академии Кыргызской Республики, академиком Международной Академии Энергетики им. А. Энштейна, заслуженным деятелем науки Кыргызской Республики.

Исманжановым Анваржаном Исманжановичем подготовлено 12 кандидатов технических наук. Им опубликовано 8 монографий, более 300 научных статей и получено 60 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Его неиссякаемая деятельность, организаторские способности и скромность отражают пример современного ученого, беззаветного служения народу и науке.

Светлая память об известном ученом Исманжанове Анваржане Исманжановиче останется в сердцах его учеников и коллег по работе.



## Расаходжаев Бахрамжан Сабирович

Кандидат технических наук, доцент по специальности “Энергетика” Кыргызской Республики, профессор НФ ФАОУ ДПО ГАСИС Российской Федерации.

Директор научно-производственного центра «Альтерэнерго» при Кыргызско-Узбекском университете.

Является одним из ведущих научных сотрудников Международного института солнечной энергии Академии Наук Республики Узбекистан.

Специалист в области возобновляемой энергетики: Гелиотехнические установки - теплицы, солнечные теплоэнергетические установки, фотоэлектрические установки и микрогидроэлектрические станции.

Является членом технических советов:

ТС 117- Солнечные тепловые электростанции;

ТС 88 - Системы генерации энергии ветра;

ТС104 - Условия окружающей среды, классификация и методы испытаний.

Автор более 70 научных статей, 10 авторских свидетельств, патентов на изобретения и полезные модели и одной монографии.

ISBN 978-5-6044576-8-9



Печ.л.с. 10 п.л.

Объем издания 10.5 МВ

Оформление электронного издания:

НОО Профессиональная наука, mail@scipro.ru

Дата размещения: 15.08.2020 г.

URL: <http://scipro.ru/conf/solarplants.pdf>