

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический

Направление подготовки – 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра - Атомных и тепловых электростанций

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА				

УДК 621.311.243-049.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2А	Минор Александр Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры атомных и тепловых электростанций	Матвеева А.А.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Попова С.Н.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопас- ности жизнедеятель- ности	Гусельников М.Э.	к.т.н., доцент		

НОРМОКОНТРОЛЬ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель кафедры атомных и тепловых электростанций	Вагнер М.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	Матвеев А.С.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.

<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.

<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический

Направление подготовки – 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Кафедра - Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН
Матвеев А.С.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме

бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту

Группа	ФИО
5Б2А	Минор Александру Александровичу

Тема работы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Целью работы является определение эффективности работы плоского солнечного коллектора, выбор методики расчета, проведение исследований на действующей экспериментальной установке. Объектом исследования является плоский солнечный коллектор Buderus Logasol SKS 4.0.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Введение; 1 Обзор литературы: 1.1 Состояние современной гелиоэнергетики в России; 1.2 Конструкции солнечных коллекторов; 1.3 Отечественный и мировой технический уровень солнечных коллекторов; 1.4 Эффективность солнечных коллекторов и методы ее повышения; 1.5 Материалы, используемые в солнечных коллекторах; 2 Объект и методы исследования; 3 Расчеты и аналитика; 4 Результаты проведенного исследования;

	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 6 Социальная ответственность; Заключение.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова С.Н., доцент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Гусельников М.Э., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры атомных и тепловых электростанций	Матвеева А.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2А	Минор А.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту

Группа	ФИО
5Б2А	Минор Александру Александровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость основного оборудования, используемого в установке для нагрева воды с помощью солнечного коллектора.	Солнечный коллектор Logasol SKS 4.0 – 64062 рубля, бак-водонагреватель Logalux SM 300/5 – 63950 рублей, центробежный насос GRUNDFOS CM3-3 A-R-A-E-AVBE C-A-A-N 96806803- 14120 рублей, мембранный расширительный бак – 1713 рублей.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Возможности использования солнечных коллекторов на территории Томской области.	Для каких целей могут применяться солнечные коллекторы, в какой период года, до какой температуры возможен нагрев воды, в каких областях может использоваться, от чего зависит его эффективность.
2. Сравнение затрат при использовании солнечного коллектора и электрического нагревателя.	Рассчитать стоимость затраченной энергии на нагрев воды при помощи солнечного коллектора и электрического нагревателя, определить возможную экономию средств за год, рассчитать срок окупаемости установки для нагрева воды с помощью солнечного коллектора.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Попова Светлана Николаевна	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2А	Минор Александр Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту

Группа	ФИО
5Б2А	Минор Александру Александровичу

Институт	Энергетический	Кафедра	АТЭС
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы); – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу); – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера).	В лаборатории могут возникнуть: Вредные факторы: – повышенный уровень шума; – повышенный уровень вибрации; – отсутствие или недостаток естественного освещения; – отклонение показателей микроклимата. Опасные факторы: – движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; – повышенная температура; – наличие большого количества электрического оборудования.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов.	ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92). ГОСТ 12.0.003-74 (с измен. 1999 г.). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Допустимые уровни звукового давления с эквивалентного уровня звука. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Гигиенические нормы уровней вибростойкости. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты);	Анализ выявленных вредных факторов: – повышенный уровень шума; – повышенный уровень вибрации; – отсутствие или недостаток естественного освещения; – отклонение показателей микроклимата с использованием коллективных и индивидуальных средств защиты. Анализ выявленных опасных факторов: – движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; – статическое электричество, защитные ограждения, защитное заземление;
--	--

– <i>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</i> – <i>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</i>	– <i>возможность пожара – углекислотные огнетушители.</i>
2. Охрана окружающей среды: – <i>защита селитебной зоны;</i> – <i>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</i> – <i>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i>	<i>Охрана окружающей среды:</i> – <i>изучение влияния возможных утечек в окружающую среду, разработка решения этой проблемы.</i>
3. Защита в чрезвычайных ситуациях: – <i>перечень возможных ЧС на объекте;</i> – <i>выбор наиболее типичной ЧС;</i> – <i>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</i> – <i>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</i> – <i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</i>	<i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i> – <i>пожар (установка огнетушителей).</i>
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – <i>специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</i> – <i>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</i>	<i>Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Гусельников Михаил Эдуардович	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2А	Минор Александр Александрович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 140 с., 28 рис., 5 табл., 35 источников, 10 прил.

Ключевые слова: СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР, ГЕЛИОУСТАНОВКА, СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ, СЕЛЕКТИВНОЕ ПОКРЫТИЕ, ПОГЛОЩАЮЩАЯ ПАНЕЛЬ, КОНЦЕНТРАТОР, ПРОПУСКАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ПОГЛОЩАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ОПТИЧЕСКИЙ КПД, ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Объектом исследования является плоский солнечный коллектор Buderus Logasol SKS 4.0.

Цель работы – определение эффективности работы плоского солнечного коллектора, выбор методики ее расчета, сравнение результата, полученного по экспериментальным данным, с теоретическим, обзор литературы.

В процессе исследования в течение месяца на экспериментальной установке производились измерения параметров, необходимых для определения эффективности плоского солнечного коллектора, также проводился обзор литературы.

В результате исследования было определено экспериментальное значение КПД солнечного коллектора, а также теоретическое, полученное в результате расчетов по предложенной методике. Построены графические зависимости, определяющие влияние различных факторов на эффективность солнечного коллектора, выполнен их анализ, сделаны необходимые выводы.

Основные технические характеристики СК Buderus Logasol SKS 4.0: общая поверхность – 2,37 м², поглощающая поверхность – 2,10 м², объем абсорбера – 1,43 л, КПД – 77 %.

Область применения: частные дома, многоквартирные здания, школы, автомойки, больницы, рестораны, сельское хозяйство и промышленность.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007, с использованием программ Microsoft Office Excel 2007, Компас 3D-V13.

Определения, обозначения и сокращения

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

солнечный коллектор: Устройство для преобразования энергии солнечной радиации в тепловую энергию.

гелиоэнергетика: Направление альтернативной энергетики, которое основано на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде.

солнечная радиация: Совокупность солнечной материи и энергии, поступающей на Землю.

селективное покрытие: Слоистая структура из нескольких слоев диэлектриков, которая излучает в несколько раз меньше тепла, чем поглощает.

концентратор: Оптическое устройство, установленное между приемником и источником излучения, которое увеличивает интенсивность поступающей солнечной энергии.

питтинговая коррозия: Коррозия металлов, ведущая к образованию полостей в металле, начинающихся с его поверхности.

термостойкость: Свойство материалов противостоять, не разрушаясь, напряжениям, вызванным изменением температуры.

Обозначения

V , $м^3 / с$ – объемный расход этиленгликоля в солнечном коллекторе;

t_1 , $^{\circ}C$ – температура этиленгликоля на выходе из солнечного коллектора;

t_2 , $^{\circ}C$ – температура этиленгликоля на входе в солнечный коллектор;

F_K , $м^2$ – площадь солнечного коллектора;

F_C , $м^2$ – поглощающая поверхность солнечного коллектора;

L , м – длина солнечного коллектора;
 l , м – расстояние между осями труб;
 τ_c – коэффициент пропускания покрытия солнечного коллектора;
 $\alpha_{s,c}$ – коэффициент поглощения поверхности соединительной пластины;
 ε – коэффициент отражения;
 h_s , град. – угловое смещение;
 β , град – угол установки солнечного коллектора;
 ρ , кг / м³ – плотность этиленгликоля;
 E –, Вт / м² – поток солнечной радиации на горизонтальную поверхность;
 $E/$, Вт / м² – поток солнечной радиации на наклонную поверхность;
 c_p , Дж / (кг · °С) – теплоемкость этиленгликоля;
 η – коэффициент полезного действия солнечного коллектора.

Сокращения

КПД – коэффициент полезного действия;
ВИЭ – возобновляемые источники энергии;
СК – солнечный коллектор;
НПО – научно-производственное объединение;
СТВК – солнечный трубчатый вакуумированный коллектор;
КЕО – коэффициент естественной освещенности;
ЦЭиНТ – центр энергосбережения и новых технологий;
ЦЭФТ – центр энергоэффективных технологий;
ЕС – европейский союз.

Оглавление

Введение	15
1 Обзор литературы.....	17
1.1 Состояние современной гелиоэнергетики в России	17
1.2 Конструкции солнечных коллекторов.....	23
1.2.1 Общие сведения	23
1.2.2 Плоский коллектор	30
1.2.3 Трубчатый вакуумированный коллектор	36
1.3 Отечественный и мировой технический уровень солнечных коллекторов	38
1.4 Эффективность солнечных коллекторов и методы ее повышения.....	40
1.5 Материалы, используемые в солнечных коллекторах	44
2 Объект и методы исследования	45
3 Расчеты и аналитика	49
4 Результаты проведенного исследования.....	50
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	60
6 Социальная ответственность	62
6.1 Техногенная безопасность	62
6.1.1 Вибрация и шум.....	63
6.1.2 Освещение рабочих мест и производственных помещений	64
6.1.3 Метеорологические условия производственной среды.....	66
6.1.4 Электробезопасность.....	67
6.1.5 Механические травмы	69
6.2 Экологическая безопасность.....	69
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	70
6.3.1 Предотвращение пожаров и взрывов.....	72
6.3.2 Пожаро- и взрывозащита.....	72
6.3.3 Выходы для эвакуации во время пожара.....	73
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	74

Заключение	75
Список публикаций.....	77
Список используемых источников.....	78
Приложение А. Варианты отвода теплоты от солнечного трубчатого вакуумированного коллектора	81
Приложение Б. Анализ показателей отечественных и мировых солнечных коллекторов	84
Приложение В. Материалы, используемые в солнечных коллекторах.....	88
Приложение Г. Технические характеристики СК Buderus Logasol SKS 4.0	93
Приложение Д. Пример и методика расчета КПД солнечного коллектора	95
Приложение Е. Расчет экономической эффективности работы плоского СК.....	103
Приложение Ж. Результаты экспериментальных измерений	107
Приложение И. Результаты расчета КПД СК по экспериментальным данным	114
Приложение К. Результаты теоретического расчета КПД СК	123
Приложение Л. Результаты расчета КПД СК при изменении некоторых конструктивных параметров.....	137

Введение

Применение солнечных коллекторов означает революцию в принципах строительства, отопления и обеспечении жилья горячей водой. Использование солнечной энергии позволяет уменьшить расходы на отопление и на получение горячей воды в несколько раз. Солнечные коллекторы - самые эффективные на сегодняшний день устройства по использованию энергии солнца. Если фотоэлектрические панели используют 14-18% от поступающей к ним солнечной радиации, то эффективность солнечных коллекторов в некоторых случаях достигает 70-85%.

В настоящее время использование солнечных коллекторов постепенно увеличивается, они все больше используются у нас и за рубежом для обеспечения горячей воды и в различных системах отопления. Используя энергию солнца, гелиосистемы позволяют ежегодно экономить до 90% традиционного топлива.

Считается, что в России для полного использования гелиоустановок не хватает солнечных ресурсов, однако даже в средней полосе России солнечной энергии достаточно для круглогодичной работы гелиоустановок. В Германии уже несколько лет с успехом реализуется программа «Сто тысяч солнечных крыш», в рамках которой государство стимулирует развитие солнечной энергетики, выдавая дешёвые кредиты на покупку гелиоустановок. Аналогичные программы действуют в Испании, США, Греции, Болгарии и других странах.

Возникает ряд сложностей с применением солнечных коллекторов в системах теплоснабжения. Есть некоторые трудности с расчётом реальной производительности солнечных коллекторов, так как в реальных условиях они зачастую не способны выдавать те характеристики, которые описаны предприятием-изготовителем. На мощность, выдаваемую солнечным коллектором, влияют такие факторы, как широта местности, где расположена

установка, угол наклона по отношению к Солнцу, спектральный состав излучения, погода, время суток и температура.

Целью данной работы является определение эффективности плоского солнечного коллектора, по результатам исследований на действующем экспериментальном образце, выбор методики расчета, а также ознакомление с основными типами солнечных коллекторов и их конструктивными особенностями, а также методами повышения их эффективности.

Объект исследования – плоский солнечный коллектор Buderus Logasol SKS 4.0.

В результате проделанной работы, на основании полученных расчетных и экспериментальных значений эффективности солнечного коллектора, будет сделан вывод о реальной производительности солнечного коллектора, а также о целесообразности применения данных установок, работающих в условиях Томской области.

1 Обзор литературы

1.1 Состояние современной гелиоэнергетики в России

Альтернативная энергетика на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) развивается стремительными темпами. Так, в энергобалансе Евросоюза ВИЭ формируют 7 %, а к 2020 году их доля возрастет до 20 %. Из всех ВИЭ в наибольших масштабах используется солнечная энергия. Общая площадь гелиоэнергетических установок в мире превышает 120 млн. м², большая часть которых построена в Китае (60 %) и в Европе (15 %).

В России, по ряду причин, гелиоустановки не получили широкого применения. В настоящее время работает не более 15 тыс. м² гелиоустановок, что на порядок меньше, чем было в Советском Союзе в 1990 году (150 тыс. м²).

В основе развития советской гелиоэнергетики - государственное плановое управление и комплексный подход от научных исследований до широкомасштабного строительства. Нормативно - информационная база СССР включала единые стандарты на солнечные коллекторы [1], нормы проектирования гелиоустановок [2], методические указания по расчету и проектированию систем солнечного теплоснабжения [3].

В справочнике [4] были представлены данные солнечной радиации на всей территории страны. Результаты научных исследований, опыт проектирования и строительства гелиоустановок анализировались на страницах общесоюзного журнала «Гелиотехника» (г. Ташкент). Ежегодно проводились научные, научно-практические конференции, издавались десятки книг отечественных и зарубежных авторов. Научными исследованиями по гелиоэнергетике занимались в основном Энергетический институт (ЭНИН), г. Москва, институт высоких температур АН СССР (ИВТАН, г. Москва), институты Академий наук Узбекской и Туркменской республик. Ведущими организациями по проектированию гелиоустановок были Киевский, Ташкентский, Тбилисский зональный НИИ экспериментального проектирования - КиевЗНИИЭП, ТашЗНИИЭП, ТбилЗНИИЭП, которыми

разработаны 35 типовых проектов гелиоустановок и солнечно-топливных котельных различной производительности.

В целом, уровень развития гелиоэнергетики СССР соответствовал мировому уровню, а по ряду направлений (селективные покрытия СК) и превосходил его.

Развитие гелиоэнергетики в России характеризуется отсутствием государственного управления и стимулирования. В 1995 году министерством топлива и энергетики была утверждена концепция развития малой и нетрадиционной энергетики [5], в том числе и гелиоэнергетики, но она также оказалась невостребованной.

Малое количество сооружаемых в России гелиоустановок объясняется также экономическими причинами. Низкая стоимость органического топлива (в 2,5 раза ниже, чем в странах Евросоюза (ЕС)) с одной стороны и высокая стоимость материалов (сопоставимая с европейской) приводит к большим срокам окупаемости гелиоустановок (более 7 лет).

С учетом изложенного, основная работа по развитию гелиоэнергетики ведется в регионах, в основном в Краснодарском крае и в республике Бурятия.

В Краснодарском крае в последние годы построено 102 гелиоустановки с общим количеством СК 5000 м². На рисунке 1 представлена структура этих гелиоустановок. Наибольшее их количество построено для пансионатов и санаториев (63 шт.) общей площадью 2550 м².

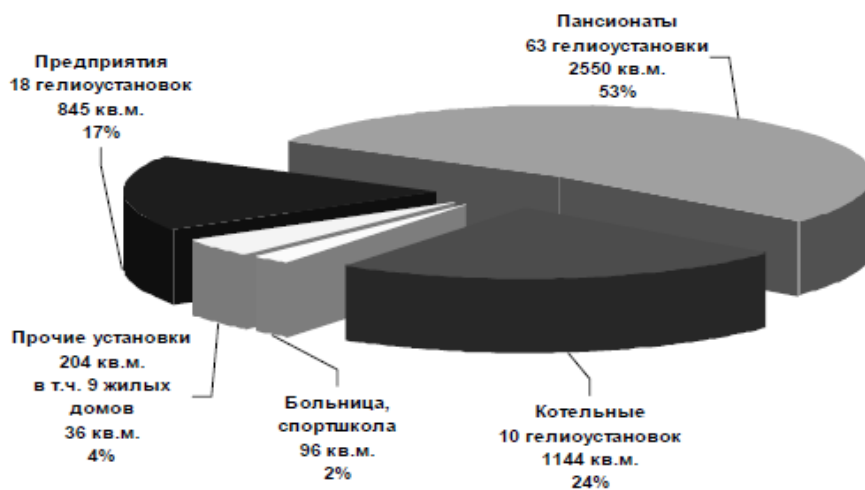


Рисунок 1 – Структура гелиоустановок

Гелиоустановка для издательства «Советская Кубань» площадью 260 м² сооружена в 1989 году в Краснодаре и эксплуатируется до настоящего времени [8]. Сооружена также солнечно-топливная котельная в Анапе с площадью СК 310 м² [9].

В основе развития гелиоустановок в данном регионе - закон об использовании ВИЭ в Краснодарском крае. Законодательным собранием региона принята программа развития ВИЭ, предусматривающая, в том числе, строительство гелиоустановок с объемом финансирования 33 млн. руб. Администрацией Краснодарского края работа по разработке и сооружению гелиоустановок поручена организации «Центр энергосбережения и новых технологий» (ЦЭиНТ), которым создан холдинг научных, проектных, производственных предприятий.

Под руководством ЦЭиНТ разработана и утверждена концепция развития солнечного теплоснабжения. В Кубанском государственном аграрном университете имеется кафедра энергетики и ВИЭ, при которой организована подготовка специалистов, в том числе аспирантов по использованию ВИЭ, ведется научная работа по гелиоэнергетике.

В основе проектирования гелиоустановок - достоверные значения солнечной радиации. На основании обработки 15-летних наблюдений метеостанций региона, сопоставления с данными справочника [4] со спутниковыми значениями для всех городов края получены достоверные значения интенсивности прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации на горизонтальную плоскость.

На основании анализа стоимостных показателей 102-х гелиоустановок на рисунке 2 приведена структура затрат.

Половину сметной стоимости гелиоустановок составляют затраты на приобретение и монтаж СК. Сопоставление структур стоимости российских гелиоустановок с немецкими (рисунок 3) подтверждает значимость затрат на СК.

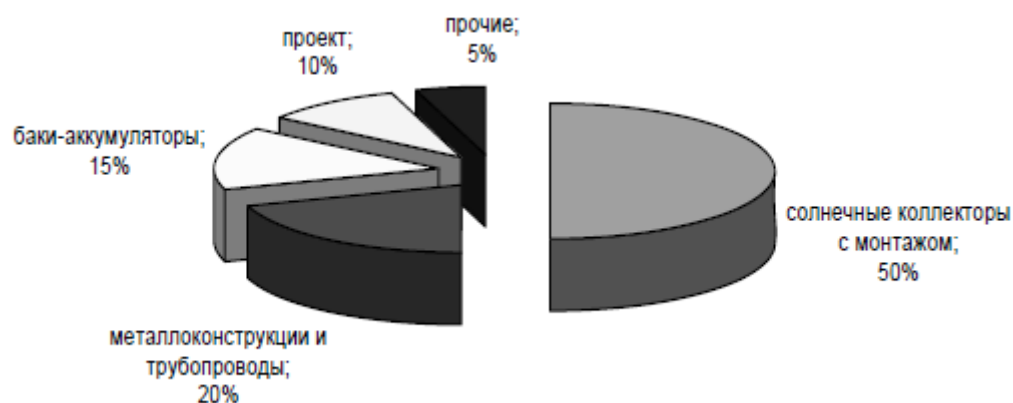


Рисунок 2 – Структура затрат при сооружении гелиоустановок в России



Рисунок 3 - Структура затрат при сооружении гелиоустановок в Германии

Краснодарскими специалистами совместно организацией «Центр энергосбережения и новых технологий» с Ковровским механическим заводом разработана конструкция СК, имеющая оптимальное соотношение стоимости и энергетических характеристик. С применением данных СК построена большая часть гелиоустановок в Краснодарском крае.

На основе анализа соотношений интенсивности суммарной солнечной радиации и тепловых нагрузок объектов в течение года, сделан вывод об экономической целесообразности при региональных ценах на замещаемое топливо (природный газ), строить, на данном этапе, только сезонные гелиоустановки для обеспечения горячего водоснабжения объектов в межотопительный период [10].

В республике Бурятия «Центром энергоэффективных технологий» (ЦЭФТ) (г. Улан-Удэ) построено более 70 гелиоустановок с общей площадью СК 3600 м². Все эти гелиоустановки смонтированы на основе СК, изготовленными ЦЭФТ на основе жидкостных медных листотрубных и полипропиленовых поглощающих панелей, а также воздушных СК собственной конструкции. С учетом региональных особенностей строятся гелиоустановки для отопления и горячего водоснабжения объектов.

Повышению роли государства в развитии гелиоэнергетики будут способствовать: принятие закона об использовании ВИЭ, разрабатываемая федеральная программа энергосбережения с разделом по использованию ВИЭ. План работ, на федеральном уровне, включает анализ действующего законодательства, оценку системы ценообразования, административных и экономических барьеров, обобщение опыта стран ЕС, разработку проектов законов, инвестиционных предложений, проекта российской программы использования ВИЭ и её мониторинга. Для апробации мероприятий программы на региональном уровне выбраны Краснодарский край (гелиоэнергетика, гидроэнергетика), Астраханская область (ветроэнергетика), Нижегородская область (энергия биомассы).

В Краснодарском крае планируется доработка регионального закона по использованию ВИЭ в части стимулирования потребителей к использованию солнечной энергии. В летнее время 200 МВт установленной мощности электростанций края используется на электронагрев, который может быть заменен гелиоустановками. При этом потребуется строительство гелиоустановок общей площадью 100 тыс. м².

Актуальной задачей для российской гелиоэнергетики является по существу воссоздание нормативно-информационной базы. Государственные стандарты на конструкции и испытания СК [6,7] устарели, не соответствуют современным требованиям, например, европейским нормам EN 12975. Нормы проектирования гелиоустановок [2] необходимо кардинально переработать. В

настоящее время требуется поддержка издания книг по гелиотехнике отечественных и зарубежных авторов.

Данные справочника [4] по солнечной радиации 1990 года издания устарели. Весь мир пользуется десятком электронных баз данных. Для России в настоящее время доступна только информация с материалами наблюдений российских метеостанций, представленная в СНиП 23-01-99 [22]. В данном документе содержится информация о суммарной солнечной радиации на горизонтальную и наклонную поверхность, средней и максимальной температуре наружного воздуха и высоте солнца над горизонтом.

В России СК, близкие к европейскому уровню способны производить НПО «Машиностроение», (г. Реутово, Московская обл.). В регионах вынуждены разворачивать собственные производства СК.

В итоге можем сказать, что в целом разрушена советская система развития гелиоэнергетики, обеспечивающая СССР мировой уровень создаваемых гелиоэнергетических установок.

Малое количество сооружаемых в России гелиоустановок объясняется отсутствием достаточной государственной поддержки, низкой стоимостью замещаемого органического топлива, дороговизной материалов для изготовления СК.

Перспективы государственной поддержки гелиоэнергетики связаны с проектом федеральной программы по энергосбережению и программ по использованию ВИЭ. Для совершенствования российской нормативно-информационной базы, в первую очередь, необходимо разработать систему государственных стандартов, в том числе и с доработкой существующих, ввести в действие новые нормы проектирования гелиоустановок, обеспечить специалистов информационными материалами.

1.2 Конструкции солнечных коллекторов

1.2.1 Общие сведения

Солнечный коллектор - элемент установки, в котором солнечное излучение преобразуется в тепловую энергию. Все СК имеют поверхностный или объемный поглотитель тепла. Тепло может отводиться из коллектора или аккумулироваться в нем. В первом случае СК называются проточными, во втором - с тепловым аккумулятором [14].

По виду теплоносителя СК разделяют на жидкостные и воздушные; по максимальной температуре - низкотемпературные (до 100 °С), среднетемпературные (до 200 °С) и высокотемпературные (до 350 °С).

Температура нагрева теплоносителя прямо пропорциональна интенсивности падающей на накопитель солнечной энергии и обратно пропорциональна тепловым потерям в окружающую среду. Уменьшить потери можно, если использовать светопрозрачные покрытия и тепловую изоляцию для поглотителя. Но при этом не удастся нагреть теплоноситель до температуры более 120 ... 150 °С.

Чтобы увеличить интенсивность поступающей солнечной энергии возможно применение концентраторов. СК, работающие без концентраторов, обычно называют плоскими. Ниже будут рассмотрены основные конструкции таких СК.

Простейший солнечный коллектор с аккумулированием тепла выполнен в виде плоской ванны, заполненной водой и закрытой стеклом. Летом, в ясную погоду, вода в нем может нагреться до температуры 40 ... 60 °С.

Коллектор-аккумулятор КА-120 (Рисунок 4) [14] выполнен со светопрозрачным покрытием и тепловой изоляцией. Поглощающий и аккумулирующий элементы изготовлены из стальных труб диаметром 120 мм. Габариты коллектора составляют 2х1,1х0,2 м, объем 120 л, масса 130 кг. Главный недостаток СК с аккумулированием теплоты в том, что нужная температура воды в нем достигается после полудня.

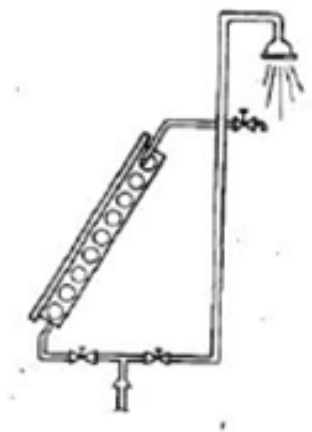


Рисунок 4 – Солнечный коллектор КА-120 с аккумулярованием тепла [14]

Низкотемпературные проточные коллекторы выполнены с поверхностным поглотителем, и конструктивно также могут быть как с открытым потоком теплоносителя, так и с панелью или трубами, по которым протекает теплоноситель.

Вертикальный СК открытого типа (Рисунок 5) выполнен из горизонтально расположенных лотков. Подачу воды осуществляют через верхний лоток, забор - через нижний водосборный лоток [11].

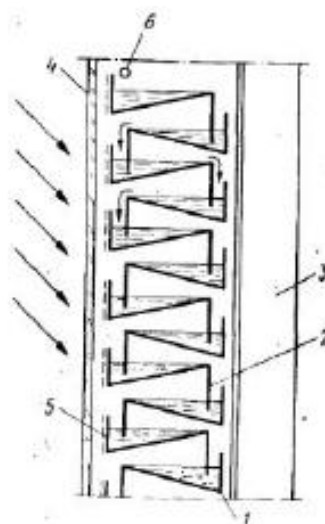


Рисунок 5 - Коллектор открытого типа [11]:

1 - лоток; 2 - фартук лотка; 3 - стена здания (теплоизоляция); 4 - остекление; 5 - поглощающее покрытие; 6 - патрубок для подачи воды

Недостатком СК открытого типа являются высокие тепловые потери. Однако их главное преимущество это то, что они не подвержены замерзанию.

Более лучшие теплотехнические показатели наблюдаются у СК с поглотителями в виде плоской панели с каналами [14].

Такие панели выполняют из металла, пластмасс или ламинированных тканей (Рисунок 6, а, б, в). Немного хуже панельных поглотителей поглотители из ряда параллельных (Рисунок 6, г).

Большее распространение получили поглотители из листа с находящимися в тепловом контакте с ним трубами (Рисунок 6, б, е, ж). Для данных поглотителей особое значение имеет теплопроводность соединений. Так, для хорошо припаянных труб она составляет $1,5 \dots 1,7 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, а для плохо припаянных - $6 \dots 10 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

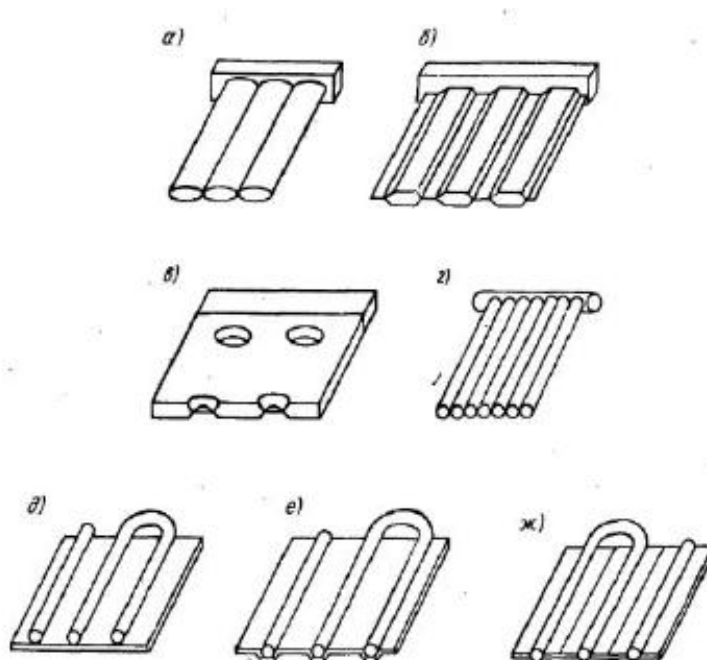


Рисунок 6 - Типы поглотителей проточных СК [14]:

а - панельный из пластмассы; б - штампованной панельный с каналами; в - штампованной панельный; г - трубчатый; д - листотрубный; е - трубчатый с поглощающими вставками; ж - трубчатый с продольными ребрами

Увеличить КПД СК можно, если применять селективные покрытия, которые обеспечивают высокую поглощающую способность солнечного излучения и низкую собственную излучательную способность. Наиболее эффективно применение селективных покрытий в вакуумированных СК, так как в них обеспечивается надежная изоляция от влаги и, следовательно, долговечность селективных покрытий. В дальнейшем эффективность СК следует повышать, применяя селективные покрытия остекления. Стекло, которое покрыто двуокисью олова, немного хуже пропускает солнечные лучи в области спектра 0,3 ... 2,5 мкм, но зато почти полностью отражает длинноволновые лучи, снижая теплотери СК [12].

В нашей стране был освоен выпуск ряда проточных жидкостных коллекторов-водонагревателей. Современные СК имеют аналогичную конструкцию, поэтому стоит рассмотреть ее на имеющихся примерах.

Основными типами жидкостного проточного СК являлись СА-121 и СА-221 с поглотителем из стального листа толщиной 1 мм, на котором с шагом 100 мм приварены стальные черные или оцинкованные плоские трубы в виде змеевика (СА-121) или регистра (СА-221) (Рисунок 7) [14]. Поглотитель был окрашен матовой черной эмалью.

Светопрозрачное покрытие было изготовлено из закаленного стекла толщиной 4 мм с высоким пропусканием (0,9 ... 0,92) и установлено в рамке с закругленными углами. Уплотнялось оно термостойким резиновым уплотнителем. Теплоизоляция выполняется из слоя минеральной ваты в полиэтиленовой пленке толщиной 40 мм и фибerglassа толщиной 8 мм. Помимо СА-121 и СА-221 выпускались еще множество СК с разными типами поглотителей [14].

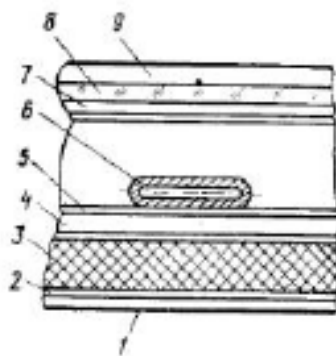


Рисунок 7 - Поперечный разрез солнечного коллектора типа СА-121[14]:

1 - стальной корпус; 2 - полиэтиленовые листы; 3 - теплоизоляция из минеральной ваты $\delta = 40$ мм; 4 - стеклопластиковая пластина $\delta = 8$ мм; 5 - поглощающая пластина; 6 - плоские трубы 40x20x2 мм; 7 - опорная пластмассовая пластина; 8 - закаленное стекло $\delta = 4$ мм; 9 - крепежные элементы

Также серийно выпускался жидкостный коллектор типа КВТ-1 (Рисунок 8). Поглотитель выполнялся из стального листа толщиной 1 мм, к которому были приварены стальные трубы диаметром 20x2. Габариты коллектора 1855x875x100 мм, масса 65 кг, объем теплоносителя 3,4 л; теплоизоляция выполнялась из слоя минеральной ваты толщиной 20 мм.

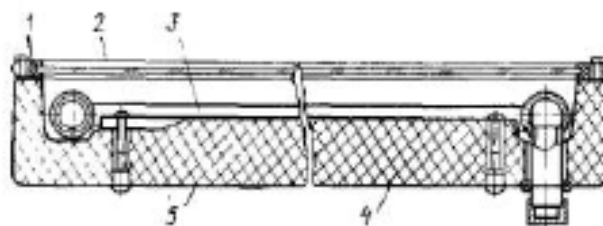


Рисунок 8 - Солнечный коллектор типа КВТ-1[14]:

1 - уплотнитель; 2 - стекло; 3 - поглотитель; 4 - тепловая изоляция; 5 – корпус

Главной проблемой при конструировании воздушных солнечных коллекторов было увеличение коэффициента теплоотдачи поглотителя. Для этой цели нужно было создать турбулентный поток воздуха, либо увеличить поверхность теплообмена (Рисунок 9) за счет оребрения.

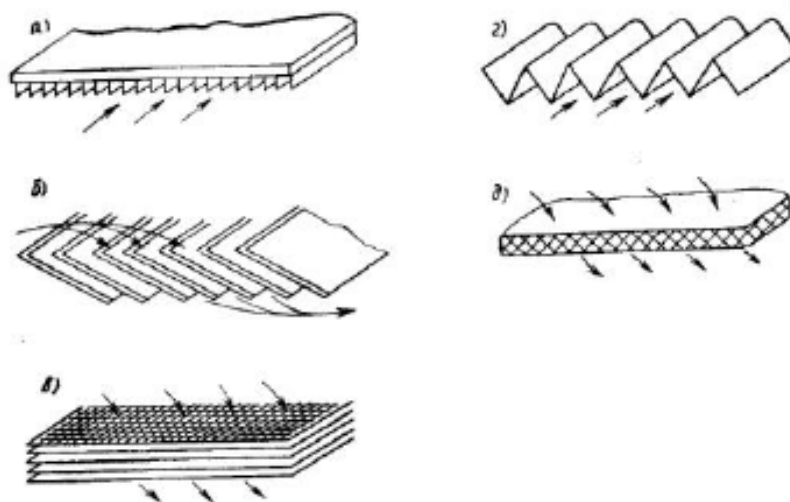


Рисунок 9 - Типы поглотителей воздушных солнечных коллекторов [14]:

а - плоский с ребрами; б - из наклонных прозрачных пластин; в - сетчатый многослойный; г - V-образный; д - из пористого материала

Ранее говорилось о существовании СК, которые увеличивают интенсивность поступающей солнечной энергии. В этих СК между приемником и источником излучения установлено оптическое устройство – концентратор. Концентраторы делятся на два типа: рефракторные и рефлекторные [13].

К рефракторным следует относить выпуклые линзы, линзы Френеля и призмы (рисунок 10, а, б).



Рисунок 10 – Концентраторы [13]:

а - линза Френеля; б - призмный; в - параболоидный; г – параболоцилиндрический

Главный недостаток СК с линзами Френеля - большое фокусное расстояние, которое приводит к увеличению габаритов СК. Призмные концентраторы могут концентрировать часть диффузного излучения. Такой

концентратор представляет собой трехгранную призму, передняя грань которой является приемником, задняя - отражателем и боковая - выходом излучения. Принцип работы концентратора состоит в полном внутреннем отражении лучей до попадания на боковую грань.

Рефлекторные отражатели выполняются в виде зеркала, поверхность которого образована вращением или перемещением кривой относительно оси. Наибольшую степень концентрации обеспечивают концентраторы параболоидного типа. Однако наибольший интерес представляют концентраторы, имеющие плоские или параболоцилиндрические отражатели, которые называются фоклинами [13] (Рисунок 11).

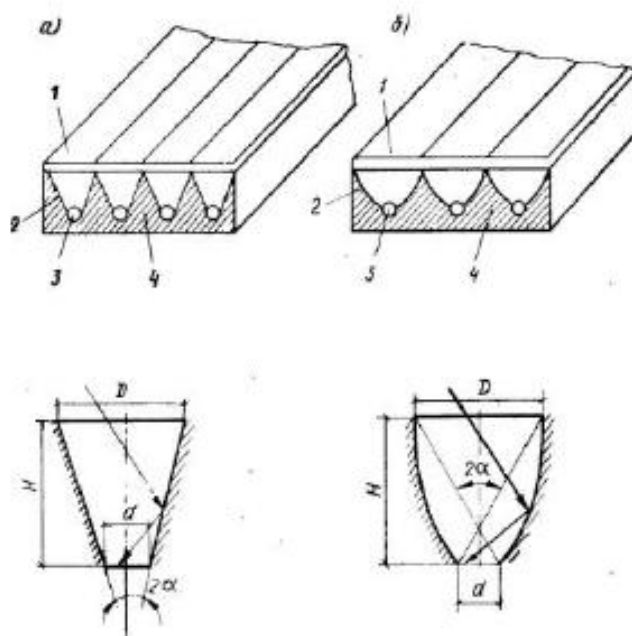


Рисунок 11 - Коллекторы с фоклинами [13]:

а - двугранным; б - параболоцилиндрическим; 1 - прозрачное покрытие; 2 - отражающая поверхность; 3 - каналы с теплоносителем; 4 – теплоизоляция

Коэффициент концентрации фоклинов определяется как отношение ширины входного отверстия D и выходного d (Рисунок 11):

$$k = D / d = 1 / \sin \alpha, \quad (1.2.1)$$

где α – параметрический угол раскрытия, град.

На рисунке 12 изображен поперечный вид СК С-121 с малой концентрацией [14].

В связи с тем, что теплоотдающая площадь приемника излучения уменьшается, температура теплоносителя в фокусирующих СК увеличивается. Уменьшение потерь тепла пропорционально степени концентрации.

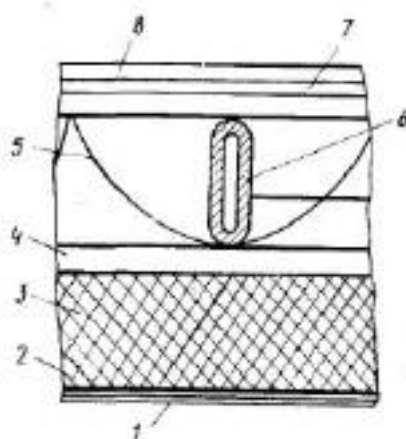


Рисунок 12 - Поперечный разрез СК типа С-121 с малой концентрацией [14]:

1 - стальной корпус; 2 - полиэтиленовые листы; 3 - изоляция из минеральной ваты $\delta = 40$ мм; 4 - стеклопластиковая пластина $\delta = 8$ мм; 5 - параболоцилиндрический концентратор; 6 - поглощающая труба 40x20x2 мм; 7 - закаленное стекло $\delta = 4$ мм; 8 - крепежные элементы с резиновым уплотнителем

Из-за того, что концентрирующие СК используют в основном прямую составляющую солнечной радиации, их эффективность ниже чем у плоских СК, хотя они имеют меньшие теплопотери. Если применять системы слежения за солнцем, можно улучшить показатели. Эффективность слежения разного вида различна.

1.2.2 Плоский коллектор

Практически любой плоский СК состоит из следующих основных элементов (Рисунок 13) [14]:

- поглощающей панели, на поверхности которой нанесено покрытие, обеспечивающее поглощение более 90 % падающей солнечной радиации, с каналами для теплоносителя;
- прозрачной изоляции, которая состоит из одного или двух слоев остекления;
- тепловой изоляции, которая снижает теплопотери в окружающую среду через днище коллектора и его боковые грани;
- корпуса, в котором расположены поглощающая панель и тепловая изоляция, сверху закрытого прозрачной изоляцией.

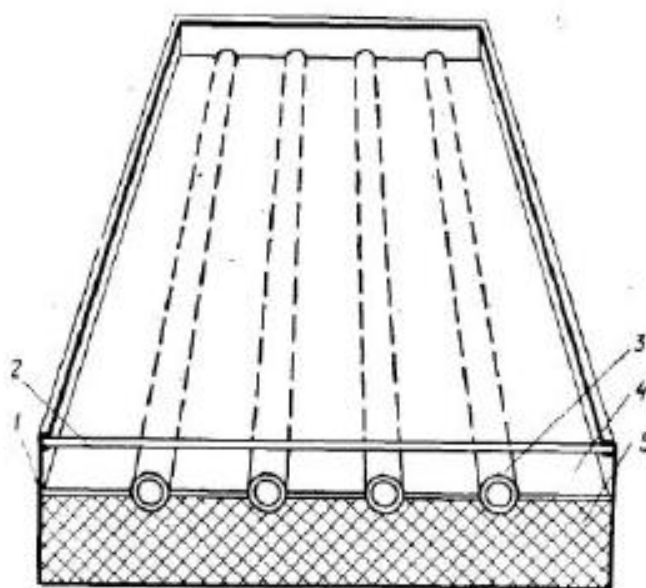


Рисунок 13 - Плоский СК [14]:

- 1 - корпус; 2 - прозрачная изоляция; 3 - каналы для теплоносителя; 4 - поглощающая панель; 5 - тепловая изоляция

В СК падающее излучение солнца преобразуется в тепловую энергию, которая отводится потоком теплоносителя (вода, антифриз, воздух и др.), протекающим по каналам поглощающей панели. Прозрачная изоляция снижает конвективные и лучистые теплопотери от поглощающей панели в атмосферу, вследствие чего возрастает теплопроизводительность СК. Пропускательная способность большинства прозрачных сред, в том числе стекла, зависит от длины волны падающего излучения. В зависимости от содержания железа

обычное оконное стекло пропускает до 85 ... 87 % солнечной радиации, однако, оно практически непрозрачно для собственного теплового излучения панели. Если перейти от одинарного остекления к двойному, то теплотери через прозрачную изоляцию уменьшатся, в тоже время уменьшится и плотность потока излучения, который падает на поглощающую панель.

Наиболее распространенными конструкциями поглощающих панелей СК являются следующие [14]:

- стандартный панельный отопительный радиатор (Рисунок 14, а);
- панель, которая состоит из двух оцинкованных стальных листов - гофрированного и плоского (Рисунок 14, б);
- прокатно-сварная алюминиевая панель (Рисунок 14, в);
- регистр из труб с металлическим листом. Способы крепления листа показаны на рисунке 14, г, д;
- регистр из труб с распирающими металлическими пластинами (Рисунок 14, е). Боковые кромки последних прижаты к трубам, обеспечивая хороший тепловой контакт между пластинами и трубами;
- регистры из труб с поперечными (Рисунок 14, ж) и продольными (Рисунок 14, з) ребрами.

Поглощающая панель должна иметь следующие основные свойства [14]:

- коррозионная стойкость по отношению к теплоносителю для обеспечения высокого срока службы изделия;
- небольшая масса;
- хороший тепловой контакт между листом и трубами, необходимый для достижения высокой эффективности работы СК;
- технологичность для снижения затрат на изготовление.

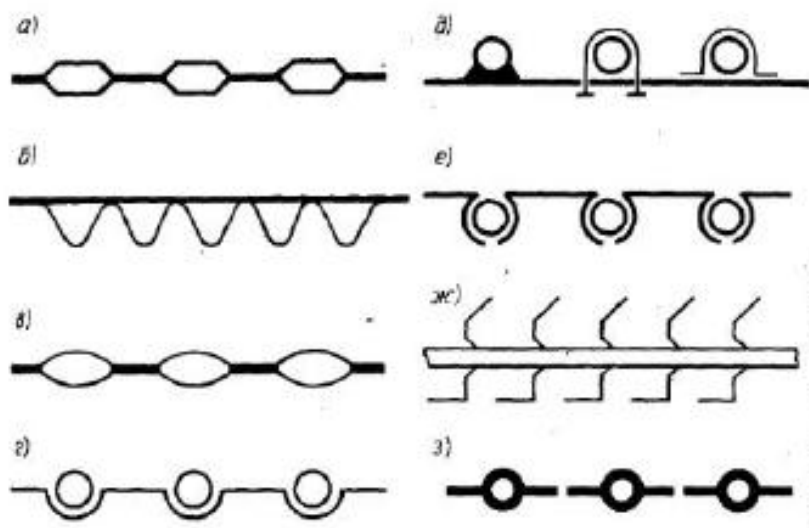


Рисунок 14 - Конструкции поглощающих панелей коллекторов (поперечное сечение) [23]:

а - стандартный панельный отопительный радиатор; б - панель из двух оцинкованных стальных листов - гофрированного и плоского; в - прокатно-сварная алюминиевая панель; г - регистр из труб с прикрепленным к ним листом; е - регистр из труб с распирающими металлическими пластинами; ж - регистр из труб с поперечными ребрами; д - способы соединения металлического листа и трубы; з - регистр из труб с продольными ребрами

Изображенные на рисунке 14 конструкции, не исчерпывают всего многообразия конструктивных решений, что говорит о том, что ни одно решение полностью не удовлетворяет разработчиков.

Рассмотрим основные характеристики СК [14]. Чтобы раскрыть возможности солнечных коллекторов и пути их совершенствования стоит рассмотреть уравнение баланса энергии для стационарных условий, которое в свою очередь определяет теплопроизводительность коллектора q_k в расчете на единицу площади тепловоспринимающей поверхности, как разность поглощенной солнечной радиации и теплопотерь в окружающую среду:

$$q_k = f' \eta_0 q - f' k (t_{\text{жс}} - t_0), \quad (1.2.2)$$

где q - поверхностная плотность потока суммарной (прямой и диффузной) солнечной радиации в плоскости коллектора;

f' - коэффициент эффективности;

η_0 - оптический КПД, практически равный произведению пропускательной способности прозрачной изоляции τ_s на поглощательную способность α_s поглощающей панели в солнечном спектре;

k - общий коэффициент теплопередачи от СК в окружающую среду;

$t_{жс}$ - средняя температура теплоносителя в коллекторе;

t_0 - температура наружного воздуха.

Коэффициент эффективности f' показывает степень переноса поглощенной солнечной радиации к потоку теплоносителя в трубах. Зависит он в основном от конструкции панели. Максимальное его значение, равное единице, достигается в том случае, когда теплопроводность материала листовой части панели $\lambda \rightarrow \infty$, термическое сопротивление контакта между листом и трубой $R_k \rightarrow 0$ и коэффициент теплопередачи от стенки трубы к теплоносителю $k \rightarrow \infty$.

При разработке СК, в соответствии с уравнением (1.2.2) необходимо по возможности сделать большие значения f' и η_0 и свести к минимуму теплотери, чтобы обеспечить максимальную теплопроводность. В хорошо спроектированном СК коэффициент f' составляет 0,92 ... 0,99; максимальное значение η_0 , τ_s , α_s равно единице. Но в большинстве случаев оптический КПД η_0 при одинарном остеклении не превосходит 0,8. Коэффициент теплопередачи k зависит от скорости ветра, числа прозрачных покрытий, расстояний между ними, а также между внутренним стеклом и панелью, от условий в воздушном промежутке коллектора, степени черноты поглощающей панели в длинноволновой части спектра. Скорость ветра будет определяющим фактором потерь при отсутствии прозрачной изоляции. При вакуумировании зазора происходит резкое сокращение конвективных потерь, а если нанести на поверхность панели покрытие, имеющие низкую степень черноты в длинноволновой части спектра, существенно уменьшатся потери излучением.

Также важной характеристикой СК является максимальная температура, до которой может нагреться поглощающая панель, если от СК не будет отводиться теплота, т.е. когда вся поглощенная солнечная радиация переходит в тепловые потери. Если в уравнении (1.2.2) принять $q_k = 0$ и $t_{жс} = t_{\infty}$, то

$$t_{\infty} = t_0 + (\eta_0 \cdot q / k). \quad (1.2.3)$$

Согласно (1.2.3) можем найти максимально возможную температуру нагрева поглощающей панели.

С учетом (1.2.3) уравнение (1.2.2) можно переписать в виде

$$q_k = f'k(t_{\infty} - t_{жс}). \quad (1.2.4)$$

Важнейшей характеристикой СК является его КПД, который рассматривается как отношение теплопроизводительности к падающему потоку солнечного излучения. Согласно (1.2.2)

$$\eta = f'\eta_0 - f'k\left(\frac{t_{жс} - t_0}{q}\right). \quad (1.2.5)$$

Зависимость η от $(t_{жс} - t_0) / q$ графически представляет собой прямую линию, которую рассматривают как тепловую характеристику СК. В соответствии с уравнением (1.2.5) КПД изменяется от максимального значения $f'\eta_0$ при $t_{жс} = t_0$ до нуля при $t_{жс} = t_{\infty}$. Параметры $f'\eta_0$ и $f'k$, которые характеризуют совершенство СК, обычно используют для сравнения СК между собой. Также для этих целей применяют следующие величины: $f_R\eta_0$ и f_Rk , где f_R - коэффициент отвода теплоты из СК, который связан с f' выражением:

$$f_R = \frac{qC_p}{k_0} [1 - \exp(-\frac{f'k}{qC_p})], \quad (1.2.6)$$

где q - удельный расход теплоносителя через СК;

C_p - удельная теплоемкость теплоносителя.

Если в уравнении (1.2.2) заменить среднюю температуру теплоносителя на его температуру на входе в коллектор, то f' в этом уравнении следует заменить на f_R :

$$q_k = f_R \eta_0 q - f_R k (t_{\text{ex1}} - t_0). \quad (1.2.7)$$

1.2.3 Трубчатый вакуумированный коллектор

В последнее время в России и за рубежом все усилия направлены на создание СК, обладающих сравнительно высоким КПД (0,4 ... 0,8) при повышенных температурах (100... 150 °С и более). Для достижения этой цели применяются способы, снижающие тепловые потери СК в окружающую среду, а также повышающие плотность потока солнечной радиации на поверхности приемника.

При совместном применении селективного поглощающего покрытия на поверхности приемника и глубокого вакуума в замкнутом пространстве, в котором содержится приемник тепла, может быть достигнуто эффективное снижение тепловых потерь. Если вакуумировать внутреннее пространство оболочки до давления $P \leq 10^{-4}$ Па, становится пренебрежимо мал перенос тепла конвекцией и может не учитываться [16]. В вакуумированных СК в качестве оболочки обычно применяют цилиндрические трубки из стекла, поскольку создание и сохранение требуемого уровня вакуума в СК плоского типа технически затруднено. Такие вакуумированные СК называются трубчатыми.

Расчеты и эксперименты показывают, что равновесная температура солнечного трубчатого вакуумированного коллектора (СТВК) с селективным поглощающим покрытием ($\alpha_s = 0,9, \varepsilon = 0,1$) при уровне вакуума $P \leq 0,07$ Па без концентрации солнечной радиации на теплоприемной поверхности ($q = 900$ Вт/м²) может достигать 200 °С [16, 17]. Если применять параболоцилиндрический концентратор [16] равновесная температура повышается до 440 °С, а затем падает до 260 °С, авторы работы объясняют это тем, что вакуум и оптические свойства селективного покрытия ухудшаются при 380 ... 400 °С.

Изготавливаемые конструкции СТВК разделяются на две группы в зависимости от того материала, из которого сделан приемник: металл или стекло. Наличие вакуумно-плотного спая металла со стеклом является

отличительной особенностью конструкции в случае металлического теплоприемника. Если теплоприемник изготовлен из стекла, то необходимость в спаяе «металл-стекло» отпадает. Для данной ситуации, с технологической точки зрения, оптимальной конструкцией будет стеклянная колба типа сосуда Дьюара. При этом пространство между трубками колбы вакуумируют, а селективное поглощающее покрытие наносят на наружную поверхность внутренней трубки.

Конструктивное выполнение СТБК различно, например, некоторые показаны на рисунке 15 (в разрезе) [23].

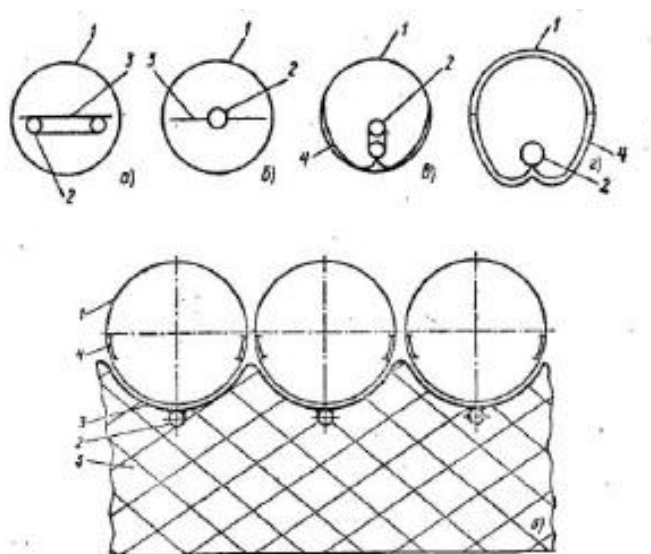


Рисунок 15 - Поперечное сечение вакуумированных стеклянных трубчатых коллекторов [23]:

1 - стеклянная оболочка; 2 - трубка для нагреваемой жидкости; 3 - лучепоглощающая поверхность; 4 - отражатель; 5 – теплоизоляция

Полезная теплота может отводиться от колбы несколькими вариантами, которые подробно рассмотрены в Приложении А.

СТБК часто имеют отражатель для использования всей площади поглощающей поверхности. Могут применяться диффузные и зеркальные отражатели. Зеркальные отражатели обеспечивают более высокий оптический КПД СТБК, по сравнению с диффузными. В свою очередь диффузные отражатели более долговечны и требуют меньших затрат на изготовление.

В источниках [19, 23] изучаются характеристики СТБК с диффузными отражателями, выполненные в виде стеклянных колб типа сосуда Дьюара. Оптический КПД данных СТБК зависит от расстояния между осями коллекторных трубок w и расстояния от оси трубки до отражателя h [14], а еще огромное влияние оказывают оптические характеристики - поглощательная способность селективного поглощающего покрытия α_s , отражательная способность отражателя R_d и пропускательная способность внешней стеклянной трубки τ . В случае плоского диффузного отражателя [19, 23], когда расстояние между осями коллекторных трубок $w = (2...3)d_{cn}$, оптимальное значение h в зависимости от w составляет $(1,3...1,8)d_{cn}$, где d_{cn} - наружный диаметр поглощающей трубки.

С увеличением w оптический КПД СТБК η_0 уменьшается, что ведет к уменьшению удельной (в расчете на 1 м^2 площади отражателя) теплопроизводительности. При этом уменьшаются удельные потери и удельная стоимость СТБК, так как число трубок в расчете на 1 м^2 площади отражателя уменьшается. В литературе [21] описывается, что увеличение w с $2d_{cn}$ до $2,5d_{cn}$ вполне оправданно экономически.

В литературе [20] также рассмотрены диффузные отражатели разной формы, например, треугольные и полукруглые. Оптический КПД для таких видов отражателей различаются незначительно (примерно 0,33), поэтому из-за простоты и небольших затрат на изготовление преимущество будет иметь плоский отражатель.

1.3 Отечественный и мировой технический уровень солнечных коллекторов

Главным образом, системы солнечного горячего водоснабжения находят в России определенное применение. В настоящий момент существует тенденция увеличения производства СК, которое достигало своего максимума в 90-е годы, когда данная отрасль была наиболее развита, а к 2005 году в ней

произошел резкий спад. Сейчас пытаются вернуться к тем направлениям по производству и использованию СК, которые были очень хорошо развиты в СССР.

За рубежом огромное применение имеют установки для нагрева воды на бытовые нужды. Наибольший вклад солнечной энергии в топливно-энергетическом балансе достигнут в странах Средиземноморья.

В Приложении Б приведен анализ показателей отечественных и мировых солнечных коллекторов. На основании произведенного анализа, можем сказать, что качество СК, которые выпускаются в США, несколько выше, чем у европейских фирм, но это отличие невелико. Если сравнивать приведенные характеристики зарубежных моделей с параметрами СК, выпускаемых в России, то следует признать, что отечественные СК существенно уступают зарубежным аналогам по многим показателям.

Мировой уровень производства СК может быть достигнут в России только в результате осуществления комплекса мероприятий, а также и в первую очередь применения специальных высококачественных материалов. Поэтому при модернизации выпускаемых СК и разработке новых, следует осуществлять также параллельное освоение новых материалов и технологий.

За рубежом в качестве материалов для прозрачной изоляции, поглощающих поверхностей и корпуса применяются пластмассы. В Российских разработках также следует уделять этому важное внимание, так как к достоинствам пластмассовых материалов относятся высокая коррозионная стойкость, малая масса, технологичность.

Также пластмассы имеют и множество недостатков, таких как: низкая теплопроводность, низкая стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения; низкая термостойкость.

В качестве материала поглощающей панели применяют полисульфон, полипропилен, полиолефин, этиленпропиленовый мономер. Прозрачную изоляцию выполняют из поликарбоната, стабилизированного относительно ультрафиолетовых лучей. Также они используются и для изготовления СК.

В связи с переходом на пенополиизоцианураты может быть достигнуто улучшение тепловой изоляции, перспективным является вариант их заливки в корпус и изготовление специальных фольгированных или облицованных теплоизолирующих плит. Такая плита, клеиваемая с помощью герметика в легкую металлическую раму СК, образует легкий и жесткий корпус [14].

1.4 Эффективность солнечных коллекторов и методы ее повышения

Показатель, который определяет эффективность солнечного коллектора, это его КПД, равный отношению теплопроизводительности СК к количеству солнечного излучения, поступающего на СК [23]:

$$\eta_k = \frac{Q_k}{(E_k A)}, \quad (1.4.1)$$

где Q_k - теплопроизводительность СК, Вт;

E_k - количество солнечного излучения, поступающего на 1 м² площади поверхности СК, Вт/м²;

A - площадь поглощающей поверхности СК, м².

Теплопроизводительность определяется как [23]:

$$Q_k = m C_p (T_2 - T_1), \quad (1.4.2)$$

где m – расход теплоносителя, кг/с;

C_p - удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг•°С);

T_2 – температура теплоносителя на выходе СК, °С;

T_1 – температура теплоносителя на входе СК, °С.

КПД СК зависит от эффективного оптического КПД η_0 и эффективного коэффициента тепловых потерь K_k [23]:

$$\eta = \eta_0 - K_k (T_C - T_B) / E_k, \quad (1.4.3)$$

где E_k - интенсивность потока солнечной радиации, которая поступает на поверхность СК, Вт/м²;

K_k - эффективный коэффициент тепловых потерь СК, Вт/(м²•°С);

T_C - температура пластины СК, °С;

T_B - температура наружного воздуха, °С.

Формула 1.4.3 представляет собой среднее значение КПД СК для данного часа суток. Так как интенсивность потока солнечной радиации E_k изменяется в течение дня, то и КПД СК тоже будет изменяться.

Получается, что среднедневное значение КПД СК будет намного меньше, чем его максимальное значение, которое достигается в полдень.

Величина КПД СК в большей степени зависит от [23]:

- интенсивности солнечной радиации E_k , которая измеряется на горизонтальной поверхности, и температуры наружного воздуха T_B ;
- материала и толщины листа лучепоглощающей поверхности, толщины и коэффициента теплопроводности тепловой изоляции, шага труб, числа слоев остекления и его пропускательной способности;
- расхода теплоносителя и его температуры на входе в СК.

По данным [23], сравнивая различные материалы для производства абсорбера – алюминий, сталь, медь, пластмасса, установили, что при увеличении произведения толщины листа δ на его коэффициент теплопроводности λ КПД СК возрастает.

В таблице 1 в зависимости от материала ребра, его толщины и шага трубок теплоносителя приведены значения коэффициента эффективности оребрения металлического листа лучевоспринимающей поверхности плоского СК [23].

Таблица 1 - Коэффициент эффективности оребрения F' абсорбера плоского жидкостного коллектора (толщина листа 1 мм, диаметр труб 25 мм) [23]

Материал листа	λ , Вт/(м·°С)	Шаг труб, мм		
		50	100	150
Медь	390	0,989	0,972	0,948
Алюминий	205	0,988	0,967	0,934
Сталь	45	0,984	0,925	0,819

Если использовать более теплопроводный материал, увеличивать его толщину и уменьшать шаг трубок, будет возрастать теплотехническое качество лучевоспринимающей поверхности СК. Если уменьшать диаметр трубок, КПД СК будет снижаться, но при этом будет снижаться и общая теплоемкость СК и его тепловая инерция, следовательно, прогрев СК будет происходить быстрее.

Если увеличится величина солнечной радиации, то КПД СК также увеличится. Также увеличение КПД СК произойдет при увеличении температуры наружного воздуха. Следовательно, в холодный период года КПД СК будет низким.

Важное значение играет температура теплоносителя на входе в СК. Чем она будет ниже, тем ниже будут и теплопотери СК, соответственно, КПД СК будет больше. Если увеличивать расход теплоносителя, то КПД СК будет увеличиваться до определенного момента, достигнет максимума, и затем будет снижаться, поэтому существует оптимальное значение расхода теплоносителя. При применении абсорбера с селективным поглощающим покрытием, имеющим большое отношение поглощательной α_s и излучательной ε способностей, КПД СК будет значительно увеличиваться. Изменяя степень селективности абсорбера α_s / ε с единицы до 12, КПД СК увеличится с 45 до 60% при однослойном остеклении.

Для горячего водоснабжения требуются неселективные СК с одним или двумя слоями остекления, которые при разности температур $\Delta T = 20 \div 50$ °С и при средней и невысокой интенсивности солнечной радиации могут давать полезную энергию. При применении двухслойного остекления снижаются теплопотери, но и одновременно увеличиваются оптические потери. Высокоэффективные вакуумированные СК или плоские с селективным абсорбером, обеспечивающие большую разность температур ΔT , могут использоваться для отопления зданий.

Повышения тепловой эффективности СК можно добиться, если применять [23]:

- концентраторы солнечной радиации; селективно-поглощающие покрытия абсорбера;
- вакуумирование пространства внутри СК;
- несколько слоев прозрачной изоляции;
- сотовую ячеистую структуру в пространстве между абсорбером и остеклением и антиотражательные покрытия на остеклении.

Если использовать данные методы, КПД СК будет повышаться, вследствие уменьшения теплопотерь.

Наиболее эффективным способом повышения КПД плоских СК является использование селективно-поглощающих покрытий. Также стоит изменять оптические свойства прозрачной изоляции для того, чтобы увеличить ее отражательную способность ρ_r со стороны поглощающего абсорбера и пропускательную способность τ_c для солнечной радиации.

Селективные покрытия, используемые для лучепоглощающей поверхности СК должны иметь высокий коэффициент поглощения α_c коротковолновой солнечной радиации (короче 2 мкм), низкую излучательную способность ε_T в инфракрасной области (длиннее 2 мкм), стабильную величину степени селективности α_c / ε_T , способность выдерживать краткосрочный перегрев поверхности, хорошую коррозионную стойкость, обладать совместимостью с материалами основы и иметь низкую стоимость.

Тонкие пленки на металлической основе являются самым распространенным типом селективных покрытий. Они поглощают видимый свет и пропускают инфракрасное излучение. К ним относится покрытие из черного никеля и черного хрома, наносимые электрохимическим способом на заранее подготовленную подложку из олова, цинка, меди, никеля. Наилучшим материалом подложки является медь, так как при его использовании достигается высокий коэффициент поглощения и низкая излучательная способность.

Из-за высоких теплопотерь при повышенных температурах в плоских СК почти невозможно получить температуру на выходе, которая превышает температуру наружного воздуха более чем на 100 °С.

Для снижения теплопотерь в СК используется прозрачная сотовая структура, которая размещается между остеклением и лучевоспринимающей поверхностью абсорбера. Данная структура обеспечивает полное предотвращение конвективного теплообмена и частично лучистого.

1.5 Материалы, используемые в солнечных коллекторах

В данном пункте следует рассмотреть:

- материалы, используемые при изготовлении корпуса солнечного коллектора;
- материалы, используемые для изготовления лучепоглощающей поверхности солнечного коллектора;
- материалы, используемые для прозрачной изоляции солнечных коллекторов;
- теплоизоляционные материалы для солнечных коллекторов;
- теплоносители для солнечных коллекторов.

Подробная информация приведена в Приложении В.

2 Объект и методы исследования

В соответствии с заданием, основной целью ВКР является определение эффективности работы плоского солнечного коллектора с помощью действующей экспериментальной установки на базе лаборатории. Принципиальная схема установки приведена на рисунке 16.

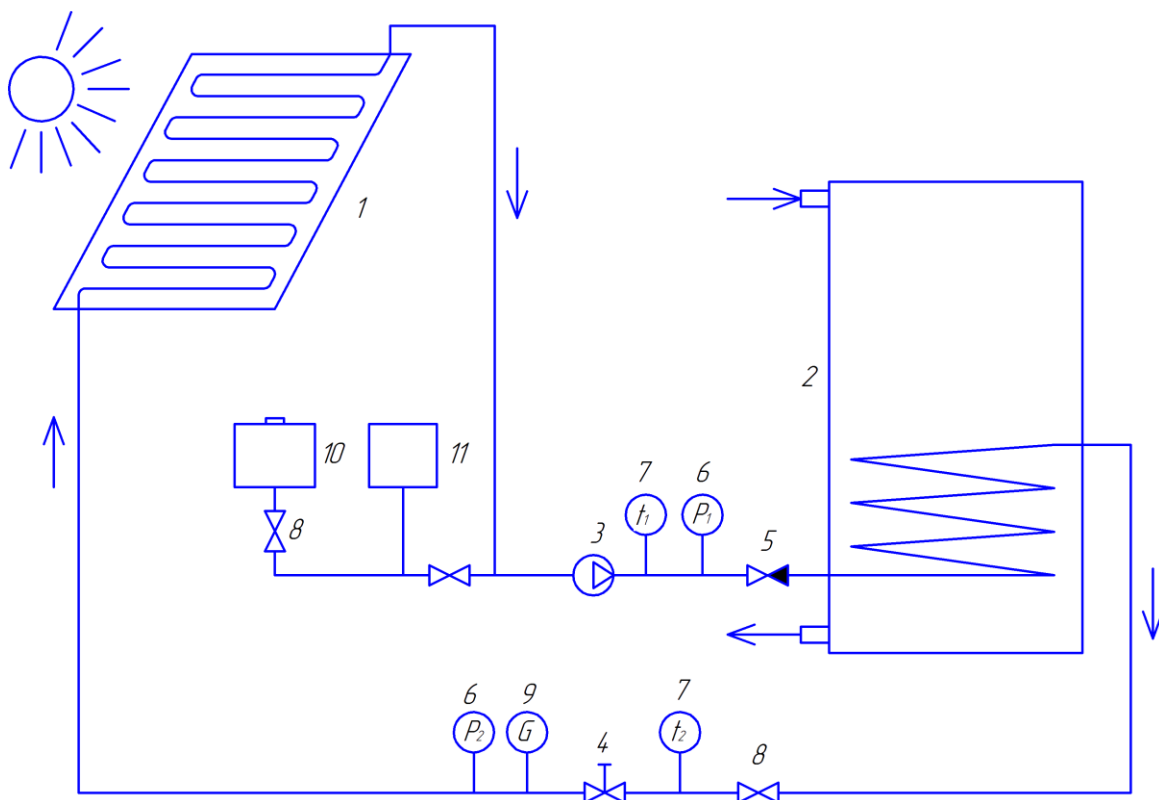


Рисунок 16 – Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 - солнечный коллектор Buderus Logasol SKS 4.0; 2- бак-водонагреватель Buderus Logalux SM 300/5; 3 - центробежный насос Grundfos CM3-3 A-R-A-E-AVBE C-A-A-N 96806803; 4 - балансировочный клапан ручной Danfoss MSV-C PN16 Kvs 4.1; 5 - обратный клапан; 6 - манометр РОСМА ТМ-5; 7 - датчик температуры, соединенный с двухканальным измерителем ОБЕН 2ТРМ0; 8 - шаровый кран; 9 - счетчик воды Миномесс; 10 - заливной бачок; 11 - мембранный расширительный бак.

Приведем краткое описание и назначение элементов из которых состоит экспериментальная установка.

Объектом исследования является солнечный коллектор Buderus Logasol SKS 4.0 (Германия) [25] (Приложение Г), поэтому его рассмотрим более подробно. Это совершенно новая разработка в области плоских коллекторов с точки зрения повышения эффективности и мощности, упрощения монтажа и возможностей вторичной переработки материалов. СК соответствует требованиям экологических норм. Он изготовлен из долговечных, выдерживающих длительные нагрузки материалов, для производства которых требуется мало энергии и подвергаемых вторичной переработке.

Его вес составляет 46 кг, и поэтому с ним легко могут работать два человека. Logasol SKS 4.0 (Приложение Г) можно встраивать в крыши, устанавливать на наклонные крыши, на фасады с углом наклона 45° и плоские крыши с использованием соответствующих монтажных комплектов.

Основные преимущества [25]:

- долговечность благодаря герметичной конструкции;
- герметичная конструкция с наполнением инертным газом между стеклом и абсорбером коллектора: атмосферные осадки, влажный воздух, пыль не проникают между стеклом и абсорбером, срок службы увеличивается и полезная мощность остается стабильно высокой;
- оптимизация мощности благодаря заполнению инертным газом: инертный газ между абсорбером и стеклом снижает теплопотери, поэтому достигается высокий КПД;
- быстрый и простой монтаж: простая техника соединений с компенсаторами из нержавеющей стали позволяет быстро подключать коллекторы без инструментов, низкие затраты на обвязку трубопроводами, возможно одностороннее подключение до пяти коллекторов, для монтажа на крыше требуется только один инструмент;
- корпус: рама из стекловолокна, задняя стенка из стального листа с алюминиево-цинковым покрытием;
- изоляция: устойчивая к высоким температурам минеральная вата, не выделяющая газов, толщина 55 мм;

- стекло: структурированное безосколочное стекло с низким содержанием железа, толщина 3,2 мм, светопропускаемость до 92 %;
- абсорбер: полногранный медный абсорбер, высокоселективное вакуумное покрытие (ионно-плазменное напыление).

Основные технические характеристики представлены в Приложении Г [25].

Бак-водонагреватель 2 (Рисунок 16) предназначен для передачи и аккумуляции тепла от нагреваемого теплоносителя (этиленгликоля) к используемой воде. Центробежный насос 3 (Рисунок 16) предназначен для циркуляции нагреваемого теплоносителя первого контура. Балансировочный клапан ручной 4 (Рисунок 16) используется для регулирования расхода теплоносителя первого контура. Манометр 6 (Рисунок 16) используется для измерения избыточного давления теплоносителя первого контура, класс точности 1,5. Двухканальный измеритель 7 (Рисунок 16) предназначен для измерения температуры теплоносителя первого контура на входе и выходе из бака-водонагревателя, класс точности 0,5. Счетчик воды 9 (Рисунок 16) используется для измерения расхода теплоносителя первого контура. Заливной бачок 10 (Рисунок 16) используется для наполнения системы теплоносителем, а также восполнения потерь в рабочем контуре. Мембранный расширительный бак 11 (Рисунок 16) используется для регулирования давления в контуре в случае его повышения и при перепадах давления, что предотвращает чрезвычайные опасные ситуации и неисправность системы.

Рассмотрим принцип работы экспериментальной установки. В часы солнечного сияния теплота радиации при помощи СК передается теплоносителю – этиленгликолю. Нагретый в солнечном коллекторе теплоноситель насосом подается в бак-водонагреватель 2 (Рисунок 16) и отдает тепло воде. Затем охлажденный теплоноситель снова возвращается в СК для последующего нагрева. Вода, нагреваемая в баке-водонагревателе, может использоваться для каких-либо нужд.

В соответствии с поставленной задачей, главной целью работы является экспериментальное определение эффективности солнечного коллектора, с помощью лабораторной установки. Полученные результаты КПД солнечного коллектора с помощью эксперимента, сравнить с результатами, найденными по известной методике расчета. Построить графические зависимости для оценки влияния различных факторов на КПД СК, произвести анализ работы плоского солнечного коллектора, дать рекомендации по оптимизации его работы, сделать вывод о возможности использования солнечных коллекторов в Томской области.

3 Расчеты и аналитика

4 Результаты проведенного исследования

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

При современной экономической ситуации, росте цен на энергоносители, административном ограничении объемов их потребления особенно актуален вопрос применения возобновляемых источников энергии, в частности, использовании неиссякаемой энергии Солнца.

Наиболее просто применять солнечную энергию для получения тепла для горячего водоснабжения. В условиях юга Сибири могут успешно эксплуатироваться СК различных типов для нагревания помещений, воды, сушки кормов и т.д., однако в нашей области из-за недостатка солнечного освещения СК не могут быть использованы в полном объеме, соответственно они могут применяться лишь для дополнительного нагрева воды в летний период. Современные СК позволяют нагревать теплоноситель до относительно высоких температур, порядка 180 °С. Средний КПД таких установок колеблется от 30 до 60 %. Достигнутые в настоящее время технико-экономические показатели установок для получения тепла дают все основания для более широкого их внедрения. Однако СК пока имеют небольшой объем в мировой энергетике.

Эффективность СК зависит от географического расположения объекта. Чем южнее расположен объект, тем больше вырабатывается энергии. На рисунке 28 представлены возможности по ежегодному объему выработки энергии с помощью СК в Российской Федерации.

В наши дни солнечные водонагревательные системы используются в частных домах, многоквартирных зданиях, школах, автомойках, больницах, ресторанах, в сельском хозяйстве и промышленности. У всех перечисленных заведений есть нечто общее: в них используется горячая вода.

ЭНЕРГОРЕСУРСЫ РОССИИ

Солнечная энергия

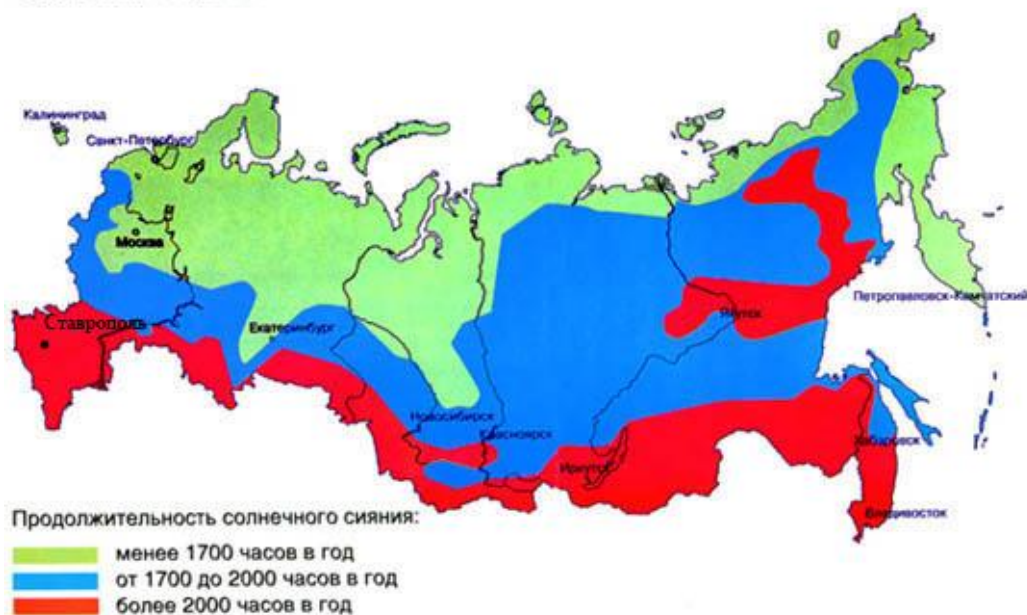


Рисунок 28 - Возможности использования солнечной энергии в РФ [27]

Плоские СК – самый удобный, простой и экономичный вариант установки гелиосистем благодаря относительно невысоким ценам и высокой эффективности, простоте монтажа и установки.

Целью данного раздела является сравнение экономической эффективности работы плоского СК и более распространенного устройства для нагрева воды – электрического нагревателя. Для этого следует рассчитать потребление электроэнергии на нагрев воды установленного объема с одинаковой начальной и конечной температурой. После этого можно будет рассчитать возможную экономию средств, затраченных на нагрев воды за определенный период. Также следует определить срок окупаемости установки для нагрева воды с помощью СК.

Выполнив все необходимые расчеты, представленные в Приложении Е, можем сказать, что затраты на нагрев воды с помощью СК совсем незначительны, так как энергия требуется лишь для работы насоса небольшой мощности. Однако, данный способ нагрева воды является неэффективным, потому что он имеет очень высокий срок окупаемости и требует больших капитальных вложений.

6 Социальная ответственность

Заключение

Список публикаций

1. Язык и мировая культура: взгляд молодых исследователей: сборник материалов XV Всероссийской научно-технической конференции: в 3-х ч./под ред. Качалова Н.А. (Часть III); Томский политехнический университет.-Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – с 42-44.

Список используемых источников

Приложение А

(справочное)

Варианты отвода теплоты от солнечного трубчатого вакуумированного коллектора

Приложение Б

(справочное)

Анализ показателей отечественных и мировых солнечных коллекторов

Приложение В

(справочное)

Материалы, используемые в солнечных коллекторах

Приложение Г

(справочное)

Технические характеристики СК Buderus Logasol SKS 4.0

Приложение Д

(обязательное)

Пример и методика расчета КПД солнечного коллектора

Приложение Е

(обязательное)

Расчет экономической эффективности работы плоского СК

Приложение Ж
(обязательное)
Результаты экспериментальных измерений

Приложение И

(обязательное)

Результаты расчета КПД СК по экспериментальным данным

Приложение К
(обязательное)
Результаты теоретического расчета КПД СК

Приложение Л

(обязательное)

Результаты расчета КПД СК при изменении некоторых конструктивных параметров