

**ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ  
ТЕХНОЛОГИИ**

На правах рукописи  
УДК: 621.472

**Кунелбаев Мурат Меркебекович**

**Система управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной  
циркуляцией**

05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель:**  
доктор технических наук  
Омаров Рашит Абдыгаравович

**Бишкек – 2024**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
ГЛАВА 1. ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ .....	12
1.1 Обоснование направления исследования .....	12
1.1.1 Одноконтурные установки и системы .....	15
1.1.2 Двухконтурные установки и системы управления.....	18
1.2 Гелиоэнергетические ресурсы Республики Казахстан .....	33
1.3 Коэффициент улавливания солнечной радиации гелиоколлектора .....	38
1.4 Выводы по главе 1.....	46
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУХКОНТУРНОЙ ГЕЛИОУСТАНОВКИ С ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ .....	47
2.1 Теоретические предпосылки энергосберегающего электрического нагрева воды в плоском солнечном гелиоколлекторе .....	51
2.2 Имитационная модель функционирования системы солнечного теплоснабжения.....	53
2.3 Выводы по главе 2.....	61
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ «ГЕЛИОКОЛЛЕКТОР + ТЕПЛОВОЙ НАСОС».....	62
3.1 Программа исследований.....	62
3.1.1 Методика по определению произведения общего коэффициента тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели.....	62
3.1.2 Определение оптического произведения КПД коллектора ( $\tau\alpha$ ) и коэффициента эффективности поглощающей панели $F'$ .....	63
3.2 Результаты экспериментальных исследований .....	67
3.2.1 Экспериментальные исследования режимов электрического нагрева плоского солнечного гелиоколлектора .....	80
3.2.2 Прогнозирование времени нагрева, КПД теплового насоса и разгрузки работы системы солнечного теплоснабжения с использованием искусственных нейронных сетей.....	85
3.2.3 Решение численных и статистических данных и построение прогнозной модели с помощью компьютерной обучающей программы LightGBM для системы солнечного теплоснабжения «плоский солнечный коллектор + тепловой насос» .....	90
3.2.4 Разработка и исследование алгоритма управления и программного обеспечения солнечного контроллера для двухконтурных солнечных коллекторов.....	96
3.2.5 Численное моделирование для анализа параметров эффективности нового типа плоского солнечного коллектора .....	99
3.2.6 Разработка систем сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов .....	108

3.2.7 Разработка и исследование системы автоматизации двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией.....	117
3.3 Выводы по главе 3.....	123
<b>ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕЛИОУСТАНОВКИ.....</b>	<b>125</b>
4.1 Энергетическая программа в сельских районах .....	126
4.2 Выводы по главе 4.....	127
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>128</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>129</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>139</b>

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей диссертации использованы следующие обозначения и сокращения:

НВИЭ – нетрадиционные возобновляемые источники энергии;

ССТС – система солнечного теплоснабжения;

ССГВ – система солнечного горячего водоснабжения;

ГУ – гелиоустановка;

СК – солнечный коллектор;

ПК – плоский гелиоколлектор;

ТК – трубчатый гелиоколлектор;

ПП – поглощающая панель;

$U_L$  – коэффициент тепловых потерь;

$R$  – сопротивление переносу тепла;

$F_R$  – коэффициент отвода тепла;

$t$  – температура, °С;

$Y$  – широта местности;

$H_B$  и  $H_d$  – прямая и рассеянная составляющие солнечной радиации на горизонтальную поверхность;

$V$  – скорость ветра, м/с;

$S_k$  – площадь абсорбера (поглощающей поверхности), м<sup>2</sup>;

$E$  – плотность потока суммарной солнечной радиации в плоскости коллектора;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

$\delta$  – толщина слоя ограниченного пространства, в котором происходит конвективный теплообмен, м;

$Q$  – количество теплоты, переданное от нагретой поверхности охлажденной, Вт;

$\Delta t$  – разность температур между нагретой и холодной поверхностями, °С.

$U_L$  – общий коэффициент тепловых потерь, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$F'$  – коэффициент эффективности поглощающей панели;

$G$  – расход воды через коллектор, кг/ч;

$A$  – площадь тепловоспринимающей поверхности, м<sup>2</sup>;

$c_p$  – теплоемкость воды, Вт ч/(кг·°С);

$t_{вх}$  – температура воды на входе в коллектор, °С;

$t_{вых}$  – температура воды на выходе из коллектора, °С;

$t_b$  – температура воздуха, окружающего испытываемый коллектор, °С;

$\bar{t}_{жс}$  – средняя температура жидкости, равная полу сумме температуры воды на входе и выходе из коллектора.

$Q_1$  – тепловой поток в первом контуре, Дж;

$Q_2$  – тепловой поток во втором контуре, Дж;

$Q_3$  – тепловой поток в контуре теплового насоса, Дж;

$S$  – площадь поверхности основных элементов (солнечные коллекторы, поверхности конденсаторов, аккумуляторный бак), м<sup>2</sup>;

$C_1$  – общая теплоемкость первичного контура, Дж/К;

$W_{EL}$  – энергия, поступающая в контур от работы компрессора, Дж;

$Q_4$  – утилизируемое тепло, выделяемое компрессором в процессе работы, Джоуль;

$Q_5$  и  $Q_6$  – тепловые потери через поверхность теплообменника конденсатора и энергия, подаваемая тепловым насосом в бак-поглотитель, Дж;

$C_2$  – теплоемкость теплоносителя контура конденсатора, Дж/К;

$t_5$  – текущая температура теплоносителя на выходе из контура, t;

$t_8$  – температура окружающей среды, t;

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Проблема энергосберегающих технологий актуальна во всем мире и является неперенным признаком рыночной экономики. Современная мировая энергетическая и экологическая политика характеризуется коренной переориентацией на максимальное энергосбережение. Целевые национальные программы приняты и практически выполняются всеми развитыми странами. Они призваны выполнять задачи экологически чистого развития, обеспечения энергетической безопасности стран, а также быть готовыми к перспективе безболезненной адаптации при неизбежном удорожании всех видов ТЭР.

Тема соответствует: задачам, поставленным Президентом РК в связи с подготовкой к вхождению Республики в ВТО – о необходимости технического перевооружения; закону РК «Об энергосбережении», где особое место отводится мерам по вовлечению энергобаланса возобновляемых источников энергии (ВИЭ); Киотскому протоколу по чистому развитию; тезисам Иоханесбургского мирового саммита 2002 г., которые призывают снизить выбросы продуктов сгорания топлив в атмосферу.

Солнечная энергия (СЭ) обладает наивысшим валовым, техническим и экономическим потенциалом, сравнительно низкой капиталоемкостью при переменной, но детерминированной зависимости от времен. Успехи освоения солнечной энергии в мире впечатляют. Автоматизация контроля и испытания гелиоустановок нашли широкое применение в таких странах ЕС, как Испания, Италии, Греции, Германии, Франции и др., где приняты национальные программы и законы их освоения. Например, в Израиле горячее солнечное водоснабжение 80 % жилых домов дает экономию более 5 % электроэнергии, производимой в стране, а в США более 60 % бассейнов обогреваются за счет СЭ. По теоретическим основам технологических систем суммарная площадь гелиоколлекторов в мире превышает уже 50 млн м<sup>2</sup>, что эквивалентно замещению 5–7 млн т.у.т. в год.

Проведенным теоретическим анализом основ, средств и методов промышленной технологий, создания автоматизированных систем управления технологических процессов солнечного теплоснабжения выявлены основные конструктивные решения, тенденции развития и характерные особенности одно-, двухконтурных гелиоустановок и гелиоколлекторов – аккумуляторов. Основными недостатками известных установок являются: неудовлетворительные эксплуатационно-технологические показатели, дороговизна, низкая годовая производительность и КПД, что ставит их в неравные конкурентные условия по сравнению с традиционными технологиями теплоснабжения.

Несмотря на это, в последние годы наблюдается активизация рынка гелиотехнического оборудования в мире, что связано с существенным повышением эксплуатационных показателей двухконтурных установок, которые хорошо зарекомендовали себя в странах с умеренным климатом.

Этому способствовало применение современных конструктивных материалов, передовых технологий и технических решений, в том числе новых устройств автоматики и гибко регулируемых приводов циркуляционных насосов. Однако при резко континентальном климате вследствие жесткой и пассивной зависимости от периодов интенсивности солнечной радиации их эффективность резко упала, о чем свидетельствует опыт зарубежных фирм (Wilo, Ferolli, Herz, Fintern, Buderus и др.). Последние имеют представительства в Казахстане и ведут активный маркетинг с целью создания рынка гелиооборудования в РК.

В последние годы значительно повысился интерес к автоматизации контроля и испытаний тепловых насосов, анализ которых показывает, что энергетические и экологические проблемы с неизбежностью приведут к необходимости широкого применения тепловых насосов (ТН). В настоящее время в мире работают 15...18 млн ТН различной мощности – от нескольких киловатт до сотен мегаватт. Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК), к 2022 г. 75 % теплоснабжения развитых стран будет осуществляться с помощью тепловых насосов. В США, по состоянию на 2004 г., эксплуатировалось около 9 млн ТН и более 35 % жилых домов были оборудованы тепловыми насосами. В Швеции введено в строй 74 крупных (от 5 до 80 МВт) теплонасосных станций, среди которых наиболее крупная Стокгольмская – ее мощность составляет 320 МВт. Ее устанавливают на баржах, где она использует зимой в качестве источника теплоты морскую воду с температурой 4 °С, охлаждая ее до 2 °С, и при этом себестоимость тепла на 20 % ниже, чем от газовой котельной.

В связи с этим заслуживают внимания автоматизация контроля и испытаний активных управляемых гелиосистем с тепловыми насосами, а также комбинированные системы, которые включают два возобновляемых источника – солнечную энергию и тепло атмосферного воздуха.

В известных исследованиях задача по теоретическим основам и методам математического моделирования организационно-технологических систем солнечного теплоснабжения считалась успешно решенной, если удавалось повысить оптический и общий КПД, снизить удельную материалоемкость и удельный коэффициент тепловых потерь или осуществить инженерную привязку гелиоустановок к проекту здания. Однако технические решения объектов управления и алгоритмизация математического и компьютерного моделирования, основанные на простом сложении эффектов и сопряжениях, не дают и никогда не давали положительных результатов, особенно при резкоконтинентальном климате, когда они практически бездействуют половину года.

Ввиду этого важнейшей частью проблемы контроля и испытаний систем солнечного теплоснабжения является изыскание научно обоснованных путей эффективного использования солнечной энергии круглогодично, в том числе в холодный зимний период, когда потребность и расход тепловой энергии наиболее высокие. Создание различных типоразмеров гелиоустановок,

адаптированных под конкретное назначение, при существенном и принципиальном повышении их технико-экономических показателей – одна из основных задач, которой посвящено данное исследование.

**Цель исследования** – разработка и установление закономерностей, обоснование основных параметров контроля и испытания системы «гелиоколлектор + тепловой насос» для повышения эффективности двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом за счет совершенствования методов математического и компьютерного моделирования организационно-технологических систем режимов работы и конструкции.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие **задачи**:

1. Провести анализ современных установок контроля и испытаний систем теплоснабжения на базе гелиоустановок, тепловых насосов и обосновать конструктивно-технологическую, функциональную и структурную схемы двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом.

2. Провести теоретические основы функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизацию, установить закономерности функционирования двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом, вывести основные расчетные формулы, определить резервы повышения тепловой производительности в системе солнечного теплоснабжения.

3. Изготовить лабораторный и макетный образец ДГУ, провести экспериментальные исследования для обоснования режимов и конструктивных параметров.

4. Изготовить экспериментальный образец ДГУ, провести его хозяйственные и предварительные испытания.

5. Изготовить контроллер управления гелиосистемы.

6. Выполнить расчеты технико-экономической эффективности, разработанной ДГУ.

**Объект исследования** – экспериментальный образец гелиоустановки с тепловым насосом для теплоснабжения процессов.

**Предмет исследования** – установление закономерностей теплоэнергетических процессов, режимы работы, зависимости, расчетные формулы.

**Научная новизна работы заключается в следующем:**

– обоснована схема гелиоустановки с тепловым насосом, отличительной особенностью которой является наличие плоского солнечного коллектора, теплового насоса, бак-аккумулятора для горячего водоснабжения. Схема направлена на совместное использование солнечной энергии, горячего водоснабжения и отопления;

– разработана новая конструкция плоского солнечного коллектора, отличительной особенностью которой является теплоизоляционный прозрачный стеклопакет с двойным стеклом и уменьшенным давлением; теплоноситель выполнен из тонкостенной гофрированной нержавеющей трубы;



– разработана новая конструкция двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией. Ее отличительными особенностями являются, во-первых, наличие в конструкции бака-дозатора и теплового насоса, где конденсатор и испаритель выполнены в виде теплообменника типа «спираль в спирали», а трубопроводы теплообменников, которые позволяют увеличить площадь и интенсивность теплообмена, помещены один над другим. За счет этого обеспечивается повышение КПД установки. Во-вторых – отсутствие дополнительных перегородок между панелью и теплоизоляцией, благодаря чему увеличивается коэффициент теплопередачи;

– разработан новый контроллер управления двухконтурного гелиоколлектора с термосифонной циркуляцией, отличающаяся электронным блоком с программируемой логической интегральной схемой MoJo v3, которая обрабатывает температурные данные датчиков, индикаторов функции и рабочих параметров ЖК-дисплея, часы реального времени (RTC) и модуль. Схема предназначена для мониторинга всей гелиосистемы, а исполнительные элементы включают в себя реле;

– разработана система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов, а также стационарная система дистанционного мониторинга солнечного коллектора, отличительной особенностью которой является процессор ESP 32, который инициализирует и начинает сбор температурных данных солнечного коллектора и состояния реле клапанов. Связь между клиентом и сервером осуществляется с помощью протокола HTTP. В системе дистанционного мониторинга солнечного коллектора имеется контроллер управления с процессором ESP32.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в создании двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией, которая имеет плоский солнечный гелиоколлектор, представляющий собой теплоизолирующий прозрачный стеклопакет с двойным стеклом и уменьшенным давлением; теплоноситель изготовлен из нержавеющей тонкостенной гофрированной трубки. Тепло, полученное от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках, которая удаляется из коллектора, а на ее место поступает холодная жидкость из сифона. Происходит постоянная термоциркуляция, при которой увеличивается КПД теплопередачи путем исключения дополнительных промежуточных стенок между панелью и теплоизоляцией.

Также имеется тепловой насос, где конденсатор и испаритель выполнены в виде теплообменника типа «спираль в спирали», трубопроводы теплообменников помещены один над другим, увеличивая площадь и интенсивность теплообмена.

Разработан и исследован автоматизированный контроллер управления гелиосистемой, включающий в себя электронный блок с температурными датчиками.

Разработана система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов и стационарная система их дистанционного мониторинга.

Предложена система солнечного теплоснабжения для решения численных и статистических данных, построена прогнозная модель с помощью компьютерной обучающей программы Light Gbm для системы солнечного теплоснабжения «плоский солнечный коллектор + тепловой насос».

Предложена система солнечного теплоснабжения с использованием алгоритмов машинного обучения для выявления аномалий в работе солнечной установки.

**Практическая значимость** заключается в возможности применения ее результатов в автоматизированных системах солнечного теплоснабжения. Основные этапы исследования выполнены в рамках проектов и грантов: грант Министерства образования и науки Республики Казахстан на 2018–2020 гг. № BR 05236693 «Математические и компьютерные модели, программно-аппаратные инструментарий и опытно-экспериментальные разработки по созданию сети комбинированных эффективных автоматизированных двухконтурных гелиоколлектора с термосифонной циркуляцией и мониторинг их функционировании».

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Предложена схема двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией, предназначенная для одновременного поглощения солнечной энергии, в которой имеется плоский солнечный коллектор, тепловой насос, бак-аккумулятор для горячего водоснабжения, которая увеличивает КПД теплопередачи на 15-20% от теплоносителя- нержавеющей тонкостенной гофрированной трубы.

2. Новое конструктивное решение теплового насоса, где конденсатор и испаритель выполнены в виде теплообменника типа «спираль в спирали», а трубопроводы теплообменников помещены один над другим, что позволяет увеличить площадь и интенсивность теплообмена, которая в свою очередь увеличивает значение коэффициента преобразования теплового насоса на 10-15%.

3. Новый контроллер управления двухконтурного гелиоколлектора с термосифонной циркуляцией и система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов, а также стационарная система дистанционного мониторинга, которые считывают температурные данные, отправляет в веб-сервер, веб-сервер показывает температурные данные в виде индикаторов, а система сетевого сбора позволяет мониторить гелиосистему через веб-сервер в режиме реального времени.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность результатов подтверждена строгой математической формализацией основных положений диссертационного исследования и результатами экспериментальных исследований с использованием лабораторного стенда и макетного образца

двухконтурной гелиоустановки, а также разработанных программных средств, реализующих предложенные методы, структуры данных и алгоритмы.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертации докладывались автором на 20 научных конференциях, среди них: 7<sup>th</sup> European Conference on Renewable Energy Systems (ECRES 2018); 14<sup>th</sup> International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO 2018); 7<sup>th</sup> The International Conference on Nanomaterials and Advanced Energy Storage Systems 2019; 4<sup>th</sup> International Practical Conference. Applied Mathematics and Computer Science 2019; 2<sup>nd</sup> International Conference Electrical, Communication Computer Engineering (ICECCE 2020); 8<sup>th</sup> European Renewable Energy System Conference (ECRES 2020); 3<sup>rd</sup> International Conference: Alternative & Renewable Energy Quest-Towards Environmental Development (AREQ 2020); 2<sup>nd</sup> International Baku scientific researches conference (2021).

**Публикации соискателя по теме диссертации.** По материалам диссертации опубликованы более чем 45 научных работ, из них, восемь работ в изданиях, рекомендуемых ВАК, 40 работ, индексируемых в WoS и/или Scopus. Получено три патента на изобретение.

**Личный вклад.** Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад диссертанта в разработку математической и имитационной модели, а также в разработку контроллера управления и системы мониторинга солнечных коллекторов.

**Структура работы.** Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключение, списка литературы, включающего 119 наименования, и приложения.

# ГЛАВА 1. ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ

## 1.1 Обоснование направления исследования

Системы солнечного теплоснабжения являются одной из наиболее приоритетных и развитых в мире технологий преобразования солнечной энергии для отопления, горячего водоснабжения и охлаждения зданий. При сооружении автоматизированных систем солнечного теплоснабжения и отопления применяются жидкостные солнечные коллекторы: плоские (остекленные и неостекленные), вакуумные, а также воздушные (остекленные и неостекленные), теплообменники, тепловой и циркуляционные насосы, бак-аккумулятор, а также резервный источник.

Рассмотрим различные системы солнечного теплоснабжения и систем управления. В анализе использованы документы, отобранные в процессе поиска в фонде Центра патентно-информационной работы АО «Республиканская научно-техническая библиотека», а также в электронном патентном каталоге на сайте «Национальный институт интеллектуальной собственности» Министерства юстиции Республики Казахстан. Патентный поиск по устройству систем солнечного теплоснабжения и систем управления проводился по индексам международной патентной классификации МПК, в которых применимы устройства и способы работы систем солнечного теплоснабжения и систем управления.

Фирмой TEV Ltd заявлено устройство солнечной тепловой системы [1], которое содержит трубопровод, обеспечивающий контур теплоносителя, солнечный тепловой коллектор, где теплоноситель поглощает солнечную энергию, а также резервуар для хранения теплоносителя и контроллер для управления солнечной тепловой системой.

Корпорацией «Митсубиси Электрик» предложена система [2] солнечных коллекторов, параллельно соединенных с наружным теплообменником и резервуаром для хранения воды в системе воздуха с тепловым насосом и активным цифровым управлением ее циклом охлаждения для повышения КПД.

Фирмой «Дэйл Фрэшман» представлена система солнечного теплоснабжения [3] с использованием солнечного коллектора с двумя тепловыми насосами. Первый тепловой насос предназначен для передачи тепла из коллектора к резервуару, а второй – для переноса тепла между коллектором и резервуаром, который нагревает или охлаждает воду.

Компанией «Сол Хем» предложена система отопления и охлаждения для бытового и коммерческого использования [4]. Она состоит из реверсивной системы охлаждения в виде теплового насоса, объединенной с теплообменником в виде солнечного коллектора, установленным снаружи, и теплообменником, установленным внутри, но расположенным на расстоянии вниз от потолка кондиционируемого помещения. Система охлаждения включает компрессор, а система теплообмена включает циркуляционный водяной насос, который вместе с компрессором составляет основные

движущиеся части системы, при этом теплообмен и циркуляция воздуха достигаются конвективным воздушным потоком.

В Обществе научных исследований имени Макса Планка в Германии предложена система теплового коллектора [5], которая содержит непосредственно тепловой коллектор, соединенный с тепловым насосом. Тепловой коллектор имеет входной канал с теплопередающей жидкостью, которая эффективно отводит излучаемое тепло из окружающей среды. Тепловой коллектор имеет конструктивную конфигурацию, позволяющую дополнительно поглощать конвекционное тепло в качестве конвектора, что обеспечивает хорошую передачу тепла между окружающим воздухом и теплопередающей жидкостью.

В проектно-конструкторско-технологическом бюро Главбастроя СССР была изготовлена гелиоустановка из сферической формы приемника концентрированного излучения [6], а также концентрично ему расположенный прозрачный теплоизолирующий кожух и охватывающая их прозрачная оболочка, состоящая из блоков правильной шестиугольной формы. При этом кожух и прозрачная оболочка образовывали емкость, заполненную теплоносителем и подключенную в контур холодного теплоносителя, связывающий приемник с потребителем тепла.

В объединенном совете ГКНТ СССР и АН СССР по проблеме «Нетрадиционная энергетика» была представлена двухконтурная система солнечного горячего водоснабжения [7]. Система состоит из бака-аккумулятора с термоизоляцией, с патрубками холодной и горячей воды, жидкостными солнечными коллекторами, каждый с прозрачной изоляцией и поглощающей панелью, с подводящим нижним и отводящим верхним патрубками для теплоносителя.

В Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Красноярский государственный аграрный университет» также была разработана система солнечного теплоснабжения [8]. Система состоит из опорной конструкции, на которой размещены солнечные коллекторы, соединенные входными и выходными патрубками с баком-аккумулятором. Опорная конструкция выполнена из нескольких дугообразных труб, а в качестве опорной конструкции использованы дугообразные трубы, пристроенные к арочной теплице и выполненные с конструкцией теплицы заодно. Они изготовлены с отверстиями одного диаметра, выполненными с равным шагом. При этом коаксиально на каждую дугообразную трубу установлена с небольшим зазором дугообразная труба большего диаметра и меньшей длины с отверстиями того же диаметра, что и на внутренней трубе, и с тем же шагом. В Институте автоматики НАН Киргизской Республики предложили новую технологию нагрева воды за счет солнечной энергии путем использования солнечного коллектора с эффектом сифона [9].

Дополнительно следует отметить некоторые технические решения, которые рекомендуют в системе солнечного теплоснабжения с целью

повышения производительности путем выравнивания температуры теплоносителя на входе в отопительные приборы. Система дополнительно содержит дублирующий источник теплоты, размещенный на подающем трубопроводе и подключенный к запитываемому трубопроводу после отопительных приборов [10].

В Казахском научно-исследовательском институте механизации электрификации сельского хозяйства было предложено устройство для интегрированного использования энергии возобновляемых источников [11], которое содержит три системы: сбора и утилизации тепла низкопотенциальных источников теплоснабжения, электроснабжения и управления. Устройство отличается характеристиками, повышающими эффективность сбора энергии низкопотенциальных источников, их аккумуляирования, а также последовательностью системных параметров устройства.

В Казахском научно-исследовательском институте механизации электрификации сельского хозяйства был разработан тепловой насос [12]. В отличие от холодильной машины, тепловой насос обладает дополнительными функциями: взаимодействует с низкотемпературными источниками, от которых он отбирает тепловую энергию, а также с объектами тепло- или хладоснабжения, которым подает тепло соответствующего температурного потенциала или охлаждает, снимая с них излишки тепла.

В предлагаемом решении сборка теплового насоса осуществляется в следующей последовательности: вначале устанавливается испаритель, затем размещается внутри него компрессор (или наоборот), производится соединение трубопровода для хладагента при помощи разъема. Затем устанавливается дросселирующее устройство, которое соединяется благодаря разъему. После этого устанавливается конденсатор, который также соединяется разъемами.

Немецкой фирмой Bosch представлен контроллер модели B-sol 100, включающий в себя электронный блок с микроконтроллером и термодатчиками, индикатором функции и рабочих параметров гелиосистемы, исполнительные элементы в виде реле [13].

В Открытом акционерном обществе «Дисплей», Белоруссия, разработан контроллер управления гелиосистемой [14] с электронным блоком, содержащим компараторы напряжений, индикатор функции и рабочих параметров. Все это является элементом светового отображения, а исполнительные элементы включают в себя реле и дополнительные транзисторные ключи.

Немецкой компанией Viessmann разработан проект использования солнечной энергии в комбинации с тепловым насосом для системы отопления [15].

Комбинированная солнечная установка Buderus из Германии предлагает новый плоский солнечный коллектор с тепловым насосом для отопления одно- и многоквартирных домов [16].

В Российской Федерации производством солнечных коллекторов занимаются две фирмы. АО «ВПК НПО машиностроение» (г. Реутов,

Московская обл.) производит солнечные коллектора с медными и алюминиевыми абсорберами ([www.sokolnpro.ru](http://www.sokolnpro.ru)) общей площадью до 2000 м<sup>2</sup>/год. Этот производитель использует современные технологии, в том числе по нанесению селективных покрытий, однако абсорберы в настоящее время изготавливаются в Чехии [17].

ООО «Новый Полюс» (Москва) производит плоские СК с медными листотрубными абсорберами собственного изготовления, вакуумные, воздушные и воздушно-жидкостные СК общей площадью до 2000 м<sup>2</sup>/год [18].

Наибольшее число систем солнечного теплоснабжения используется в Краснодарском и Ставропольском краях, Бурятии, Астраханской и Волгоградской областях, Хабаровском и Приморском краях. В Краснодарском крае половина систем солнечного теплоснабжения, в которых большая часть – плоские солнечные коллекторы российского производства, обеспечивает горячей водой гостиницы и курортные объекты. В Бурятии большая часть систем солнечного теплоснабжения работают на производственных и специальных объектах и оснащены плоскими солнечными коллекторами конструкции Центра энергоэффективных технологий (г. Улан-Удэ). В котельной г. Нариманов Астраханской области для горячего водоснабжения эксплуатируется самая большая в России система солнечного теплоснабжения площадью 4400 м<sup>2</sup> с плоскими солнечными коллекторами производства фирмы Vuderus (Германия). В Волгоградской области и в Ставропольском крае работают системы солнечного теплоснабжения с вакуумными солнечными коллекторами.

### **1.1.1 Одноконтурные установки и системы**

Одноконтурные установки – наиболее простой вид гелиоустановок. Они остро необходимы на летних пастбищных доильных площадках, пунктах мойки шерсти и других производствах, функционирующих в летний период. Задача заключается в изыскании принципиальных путей удешевления, снижения материалоемкости, повышения КПД за счет оригинальных конструктивных решений и новых современных материалов при обеспечении приемлемых эксплуатационных показателей.

Система солнечного водяного отопления с термосифоном – одна из самых «успешных» систем солнечного отопления. По сравнению с обычной системой, использующей ископаемое топливо, термосифонная система экономит до 70 % потребления ископаемого топлива [19]. В то время как по сравнению с системой солнечного отопления с принудительной циркуляцией система термосифона полагается не на циркуляционный насос, а на тепловую плавучесть потока [20].



Рисунок 1.1 - Одноконтурный солнечный водонагреватель с термосифоном

На рисунке 1.1 показан одноконтурный солнечный водонагреватель с термосифоном в кампусе Юньнаньского университета, в котором были сконструированы и протестированы два комплекта одноконтурных солнечных водонагревателей с термосифоном. Каждый состоит из 18 трубок (диаметр внутренней трубки/крышки 47/58 мм, длина 1,8 м) и одного горизонтального цилиндрического резервуара для воды (объем 140 л) (рис. 1.2.). Обе системы были идентичны во всех аспектах, за исключением угла наклона коллектора: одна наклонена на  $22^\circ$  от горизонта (SWH-22), а другая – на  $46^\circ$  (SWH-46). Были разработаны два эксперимента: первый направлен на исследование ночных рабочих характеристик одноконтурного солнечного водонагревателя с термосифоном и влияния угла наклона коллектора на обратный поток, а второй – на исследование потерь тепла от коллекторов солнечных трубок в окружающий воздух из-за обратного потока ночью. Для контроля температуры окружающего воздуха использовался датчик PT100, расположенный внутри стандартного экрана рядом с двумя солнечными водонагревателями [21].



Рисунок 1.2 - Одноконтурные солнечные водонагреватели



Теоретические прогнозы расхода в термосифонных солнечных коллекторах сравниваются с экспериментальными измерениями, полученными с помощью лазерного доплеровского анемометра. Предложены модификации обычного метода анализа для повышения точности прогнозов. Результаты сопоставляются с прогнозами расхода и измерениями в других исследованиях [22]. В работе [23] были проведены экспериментальные сравнения двух комплектов одноконтурных солнечных водонагревателей с термосифоном, каждый из которых состоит из коллектора с плоской пластиной (размером 1000 × 2000 мм) с алюминиевым поглотителем, окрашенным в матово-черный цвет. Для обеих систем коллекторы были наклонены под углом наклона 30°, электрическое сопротивление 2 кВт было зафиксировано на дне резервуара для хранения, который находился на 12 см выше верхней части коллектора. На верхней части резервуара для хранения был установлен резервный резервуар для воды, внутри которого был оборудован клапан с плавающим шариком для контроля уровня воды в резервуаре для хранения. Для одной системы резервуар для хранения был расположен вертикально с вертикальным расстоянием 0,7 м между соединениями коллекторного контура в резервуаре, но для другой системы резервуар для хранения был расположен горизонтально с вертикальным расстоянием 0,35 м между соединениями коллекторного контура в резервуаре. Верхняя соединительная труба обеих систем была изолирована трубчатым полистиролом толщиной 30 мм.

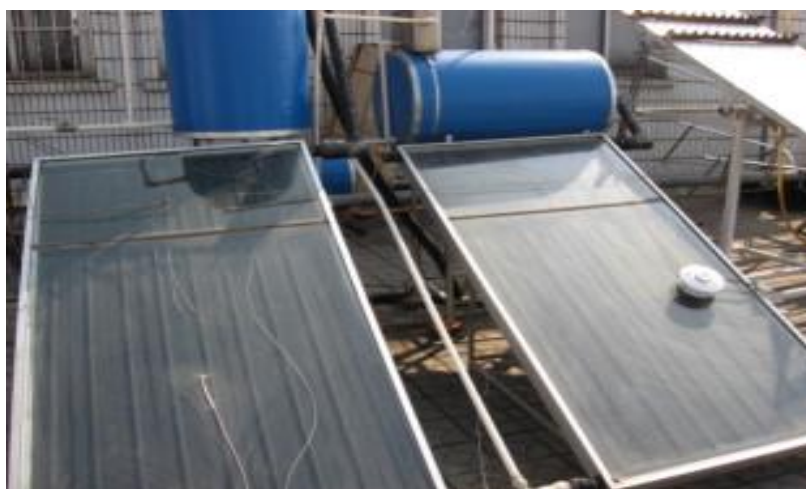


Рисунок 1.3 - Одноконтурные солнечные водонагреватели

На рисунке 1.3 изображен одноконтурный солнечный водонагреватель. Основными компонентами термосифонной системы солнечного отопления являются солнечный коллектор, резервуар для воды, соединительные трубы и теплообменник. Как показано на рисунке 1.4, в данной работе солнечный коллектор выбран в качестве горизонтального солнечного коллектора с вакуумированной трубкой «вода в стекле» из-за его низкой стоимости и высокой эффективности. Коллектор, использующий воду в качестве рабочей жидкости, напрямую соединен с новым резервуаром для воды переменного

объема, который оснащен тремя выходными отверстиями. Динамический переключатель рабочего выходного отверстия резервуара автоматически включается электрическими клапанами, установленными в каждом выходном отверстии. Теплообменник, передающий накопленное тепло в резервуар для использования, представляет собой погруженный плоский змеевик. Погруженная катушка подключена к нагревательной клемме. Рабочая жидкость внутри змеевика и нагревательного терминала состоит из 40 % этиленгликоля в воде. Температура рабочей жидкости, подаваемой на нагревательные клеммы, называется температурой подачи, а температура, возвращающаяся с клемм, – температурой возврата. Труба соединяет выходное отверстие коллектора и входное отверстие резервуара, называемое верхней соединительной трубой. Вода в верхней соединительной трубе – это вода, нагреваемая коллектором. Труба соединяет выходное отверстие резервуара и входное отверстие коллектора, называемое соединительной трубой. Вода в нижней соединительной трубе – это вода, вытекающая из бака и ожидающая нагрева. Температура воды в верхних и нижних соединительных трубах и конструкция труб в значительной степени зависят от скорости естественного циркуляционного потока [24].

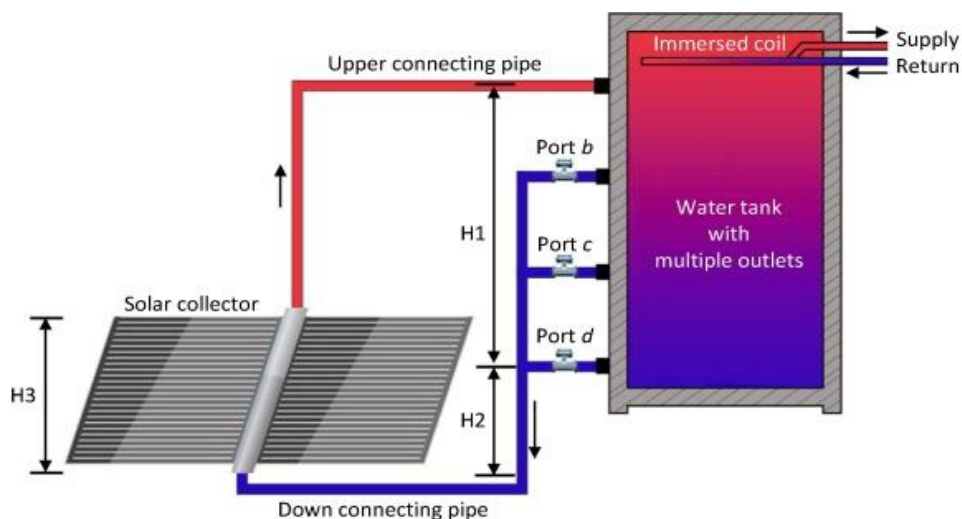


Рисунок 1.4 - Одноконтурные солнечные системы теплоснабжения с термосифоном

### 1.1.2 Двухконтурные установки и системы управления

Для строительства энергоэффективных устойчивых зданий в соответствии с новыми правилами в отношении глобального потепления и выбросов парниковых газов в настоящее время требуется несколько изменений [25, 26]. Использование возобновляемых источников энергии для достижения энергоэффективных целей в значительной степени было одобрено [27]. Среди возобновляемых источников солнечная энергия является наиболее доступным источником чистой энергии с минимальными затратами и воздействием на окружающую среду [28]. Исследования, основанные на солнечной тепловой

энергии, привлекли огромное внимание начиная с 1970-х гг. после начала энергетического кризиса [29]. Процесс сбора солнечных коллекторов в виде энергии и преобразование их в полезное тепло для нагрева воды, кондиционирования помещений, а также для сельскохозяйственных или промышленных применений является основой применения солнечной энергии [30]. На солнечное отопление приходится основная доля всех применений на рынке; однако различные технические недостатки, такие как неопределенность, связанная с эффективностью увеличения тепла и тепловыми потерями, выступают в качестве препятствий для его продвижения [31]. Интеграция тепловых насосов для тепловых применений потенциально может решить в [32]. Двухконтурная гелиоустановка имеет преимущества перед обычными солнечными водонагревателями с точки зрения производительности и первоначальных инвестиций. В обычных системах в качестве рабочей жидкости используется вода, в то время как в гибридных системах водяного отопления – хладагент, который передает тепло воде [33]. Двухконтурная гелиоустановка решает общие проблемы обычных систем, связанные с высокими инвестиционными затратами на компоненты солнечного коллектора и проблемами, возникающими из-за коррозии. Системы двухконтурных гелиоустановок способны работать в умеренных климатических условиях с солнечной радиацией, повышая энергоэффективность зданий. Решение, введенное путем интеграции теплового насоса в систему и использования солнечного коллектора в качестве испарителя обратного цикла, работающего с подходящей жидкостью-хладагентом, позволяет разорвать температурную связь между коллектором и температурой хранения. На рис. 5а показана простая система двухконтурной гелиоустановки вместе с соответствующими тепловыми и энергетическими передачами, плюс несколько ключевых температур, используемых в настоящем анализе [34].

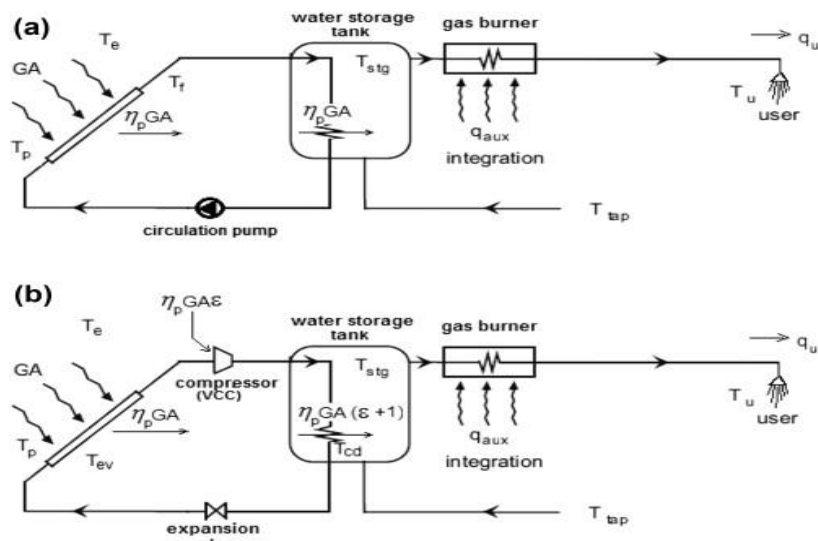


Рисунок 1.5 - Система двухконтурной гелиоустановки. Традиционная схема солнечной установки (а) и тепловой насос с прямым расширением с солнечной поддержкой (б)

Множество исследований экспериментально и численно [35] оценили потенциал двухконтурных гелиоустановок и их комбинации с тепловыми насосами для снижения энергопотребления на месте в системах отопления. Двухконтурная гелиоустановка в основном включает в себя расширительный клапан, конденсатор, компрессор и испаритель (рис. 1.6). От традиционного теплового насоса она отличается двумя параметрами. Во-первых, солнечный испаритель может работать в трех режимах: солнечный режим, режим источника воздуха и режим источника солнечного воздуха. В солнечном режиме структура и процесс теплопередачи аналогичны структуре плоского солнечного коллектора. В утреннее время он извлекает тепло из окружающего воздуха за счет принудительной конвекции, извлекает тепло из солнечной энергии, а также из окружающего воздуха. Во-вторых, система имеет два режима цикла: режим термосифона и режим теплового насоса. В режиме термосифона компрессор отключается, поэтому потребление электроэнергии почти равно нулю; в режиме теплового насоса за счет работы компрессора достигается более высокая температура конденсации и большая производительность.

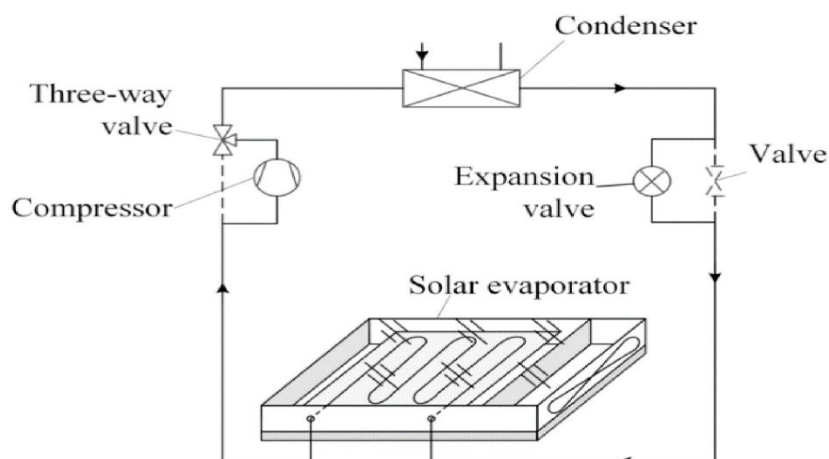


Рисунок 1.6 - Принципиальная схема двухконтурной гелиосистемы

На рис. 1.7 показана испытательная лаборатория двухконтурных солнечных систем в инженерной школе Севильского университета (Испания). Лаборатория аккредитована в соответствии с Европейским стандартом EN 12976:2019 и стандартом ISO 9459-5:2007 [36].



Рисунок 1.7 - Испытательная лаборатория двухконтурной гелиосистемы

Принципиальная схема двухконтурной гелиоустановки для отопления бытовой воды и отопления помещений показана на рисунке 1.7 [37]. Система состоит из трех контуров, а именно: солнечного нагрева воды; каскадного теплового насоса; отопления помещений и контура горячего водоснабжения. Система состоит из двух циклов теплового насоса сжатия (один с использованием хладагента с низкой температурой кипения, а другой – с использованием хладагента с высокой критической температурой). Тепловые насосы соединены вместе для повышения температуры до 353 К. В этой исследовательской работе хладагент R410A был выбран для цикла низкотемпературного теплового насоса, а хладагент R134a – для контура высокотемпературного теплового насоса.

Как низкотемпературные, так и высокотемпературные циклы теплового насоса состоят из всех основных компонентов, таких как компрессор, конденсатор, расширительный клапан и испаритель. Конденсатор высокотемпературного цикла теплового насоса соединен с резервуаром для хранения горячей воды. Кроме того, для повышения производительности были использованы такие аксессуары, как приемники жидкости, герметичные сушилки для хладагента и смотровые стекла. Давление хладагента в системе теплового насоса регулируется с помощью выключателей давления, а температура горячей воды – с помощью термостатов. Контур солнечного нагрева воды состоит из трех солнечных плоских пластинчатых коллекторов площадью 2 м<sup>2</sup>, циркуляционного насоса для воды и резервуара для хранения горячей воды емкостью 300 литров. Солнечные коллекторы устанавливаются на балконе здания, их закрепляют под углом 45° к югу, чтобы максимизировать поглощение солнечного излучения. Все солнечные коллекторы последовательно соединены с резервуаром для хранения горячей воды. Этиленгликоль использовался в качестве теплоносителя для извлечения тепла из солнечного коллектора и передачи в резервуар для хранения горячей воды. Производительность солнечного коллектора была смоделирована в течение трех разных месяцев (октябрь, ноябрь и декабрь) 2018 года. Эффективность

предлагаемой системы была оценена для климатических условий города Алматы (широта 43,25°, долгота 76,91°) в Казахстане.

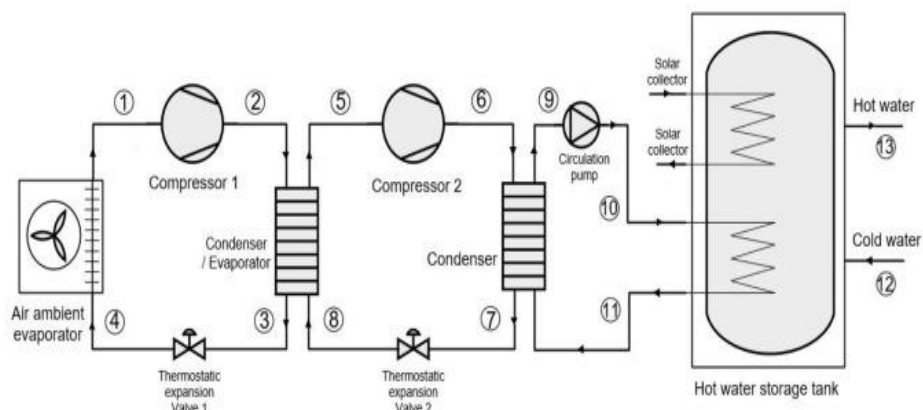


Рисунок 1.8 - Принципиальная схема двухконтурной гелиосистемы с внешним источником



Рисунок 1.9 - Прототип двухконтурной гелиосистемы теплового насоса с внешним источником

1 – расширительный бак; 2, 2' – циркуляционные насосы; 3 – резервуар для хранения горячей воды; 4 – счетчик энергии; 5, 5' – компрессор; 6, 6' – паяный пластинчатый теплообменник; 7, 7' – переключатель давления; 8 – панель управления; 9 – приемник жидкости; 10, 10' – сепаратор газожидкостей; 11 – испаритель источника окружающей среды

Тепловой насос, управляемый через систему автоматизации, снабжает здание энергией для теплоснабжения, отопления и кондиционирования. В исследованиях [38–40] были разработаны гелиосистемы и тепловые насосы, которые повышали энергоэффективность зданий и социальных объектов в летний период времени.

В работах [41–44] были разработаны и исследованы методы оптимизации и современные методологии проектирования и внедрения двухконтурных гелиоустановок. На основе систем солнечного теплоснабжения были определены перспективные направления использования солнечной энергии,

применяемые в системах теплоснабжения для отопления в социальных и жилых зданиях [45–47].

В Киргизском государственном техническом университете им. И. Раззакова разработана и исследована эффективность работы сифонного солнечного коллектора. На системы оказывают влияние ряд факторов, таких как интенсивность солнечной радиации, температура окружающей среды, геометрические параметры солнечного сифонного коллектора, теплофизические параметры абсорбера и теплоносителя, материал элементов, а также другие факторы, влияющие на окончательную температуру и режим работы системы [48]. В статье [49] были получены зависимости, которые позволяют проследить взаимосвязь времени истечения теплоносителя через сифон в зависимости от величины напора сифона и его геометрического параметра (площади поперечного сечения сифона). В работах [50, 51] была разработана обобщенная математическая модель и исследованы процессы преобразования и передачи тепла в солнечном коллекторе с эффектом сифона.

В работе [52] разработана математическая модель двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом, в которой сформулирована и использована гипотеза теплопроизводительности как суммы энергии солнечной радиации, тепла из окружающей среды и тепла, выделяемого при работе компрессора теплового насоса. В исследовании [53] экспериментально подтверждено, что гелиоколлектор без остекления и тепловой изоляции обладает до 1,5 раз большей производительностью, чем в классическом исполнении. Это позволяет снизить материалоемкость и стоимость изготовления до 50 %.

В работе [54] разработана гелиосистема, где установлена прямая зависимость температуры теплоносителя в гелиоконтуре от температуры воды в бойлерах. Как показали эксперименты, по мере увеличения количества воды средняя температура бойлера также растет, вызывая снижение КПД установки. Наибольшая теплопроизводительность установки соответствует наибольшему значению солнечной радиации. Также установлен расход потребности горячей воды объекта и определена реальная экономия теплоты за счет использования солнечной энергии – в среднем 70000 ккал/сут. В статье [55] проводились экспериментальные исследования теплотехнических характеристик солнечного водонагревателя с промежуточным теплоносителем.

Исследователи Yi-Mei Liu и др. [56] из Национального университета Тайваня разработали и рассчитали производительность тайваньских автоматизированных солнечных гелиоколлекторов с термосифонной циркуляцией. Myeong Jin Ko [57] из Инчхонского национального университета Республики Корея спроектировали многоцелевую оптимизацию для косвенной принудительной циркуляции нагрева воды с использованием солнечной системы. На рисунке 1.10 показана схема косвенной непрямой системы принудительной циркуляции. Система состоит в основном из плоских солнечных коллекторов, внешнего теплообменника, резервуара для хранения, вспомогательных нагревателей, циркуляционных насосов и

дифференциального контроллера температуры. Эта система солнечного теплоснабжения имеет две циркуляционные цепи: первичный контур, который собирает солнечную энергию и передает его в резервуар хранения через внешний теплообменник, и вторичный контур, который передает тепло, хранящееся в резервуаре, в нагрузку. Два циркуляционных насоса в первичной цепи управляются с помощью контроллера управления. Вспомогательные нагреватели добавляются в соответствии с потребностями в энергии для горячей воды, когда температура в резервуаре не достигает нужной температуры.

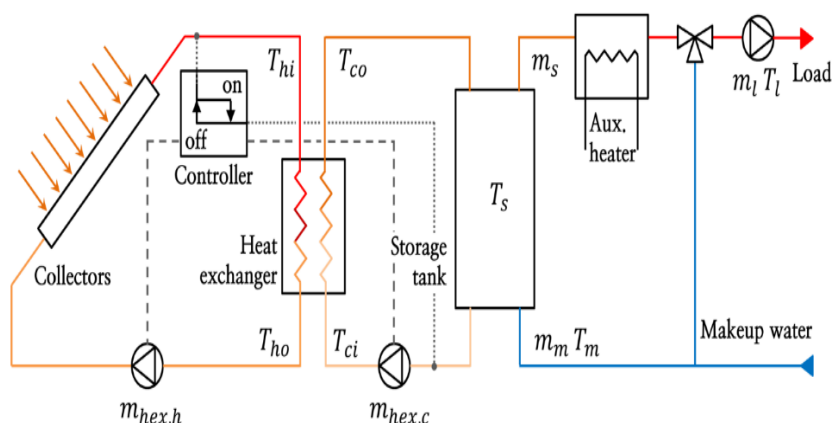


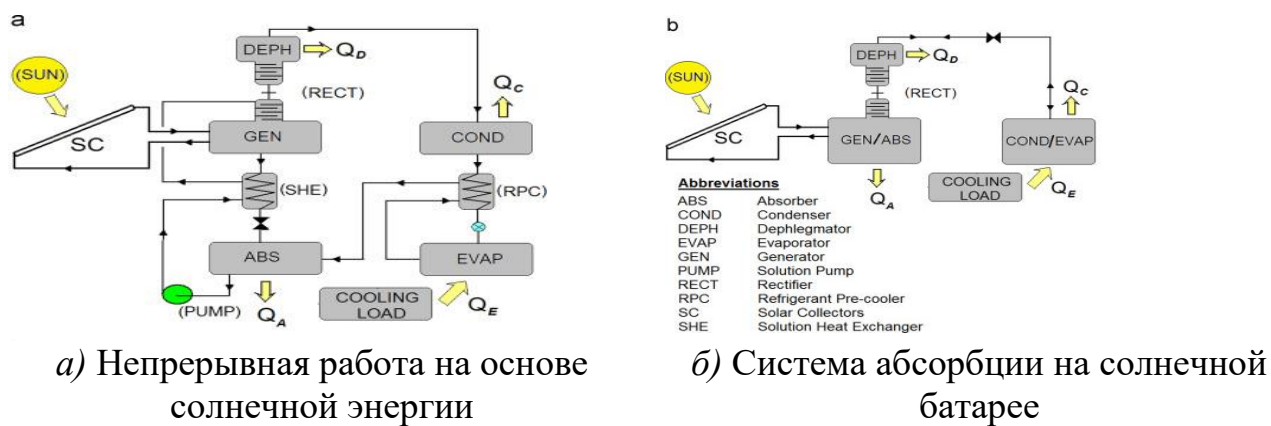
Рисунок 1.10 - Принципиальная схема косвенной системы автоматизированного солнечного теплоснабжения принудительной циркуляции, используемой в этом исследовании

Ученые Ху Ji и др. [58] рассчитали влияние автоматизированной установки солнечного коллектора на производительность.

Исследователи L. Ayompe, A. Duffy [59] разработали анализ автоматизации контроля и испытаний тепловой эффективности системы солнечного водонагрева с трубчатый коллектором. В работе Ruchi Shukla и др. [60] представлен подробный обзор исключительно аспектов проектирования систем солнечного нагрева воды и рассматриваются альтернативные технологии хладагентов и технологические достижения в улучшении производительности, а также экономическая эффективность системы.

В исследовании M. U. Siddiqui и др. [61] представлен обзор работ в области систем поглощения солнечной энергии, в которых используются пары рабочей жидкости. Основное внимание в этом исследовании уделяется системам абсорбционного охлаждения на солнечной энергии, системам диффузионного поглощения, системам поглощения на основе эжектора, системам поглощения сжатий и системам поглощения когенерации / тригенерации. В этом исследовании были рассмотрены термодинамические свойства большинства обычных рабочих жидкостей, а также использование тройных смесей в системах поглощения солнечной энергии.





а) Непрерывная работа на основе солнечной энергии

б) Система абсорбции на солнечной батарее

Рисунок 1.11 - Система абсорбции

А. Soteris Kalogirou [62] рассчитал оптический, термический и термодинамический анализ гелиоколлекторов и описание методов, используемых для оценки их эффективности. Т.Т. Chow и др. [63] разработали численное исследование централизованной системы солнечного водонагрева в многоквартирном жилом помещении. S.R. Park и др. [64] разработали энергетический и эксергетический анализ типичных возобновляемых источников энергии.

Н.М.С. Hussein [65] теоретически исследовал естественный циркуляционный двухфазный замкнутый термосифонный плоский пластинчатый солнечный водонагреватель. В статье S. M. Khairnasov и др. [66] представлен анализ текущего состояния и перспектив использования тепловых труб в солнечных энергетических системах.

В работе E. Maldonado Huertab и др. [67] были исследованы конструкция и мгновенная эффективность солнечного водонагревателя. Геометрию и размерность коллектора определяли по результатам термического анализа и термических свойств материалов. С. Nogueira и др. [68] представили полную разработку программного обеспечения с использованием платформы MATLAB и ее алгоритм для калибровки небольших солнечных систем нагрева воды. На рисунке 1.11 (а, б) показана компоновка и эксплуатация солнечной системы с опорой от проходных нагревателей с использованием сжиженного нефтяного газа (LGP).

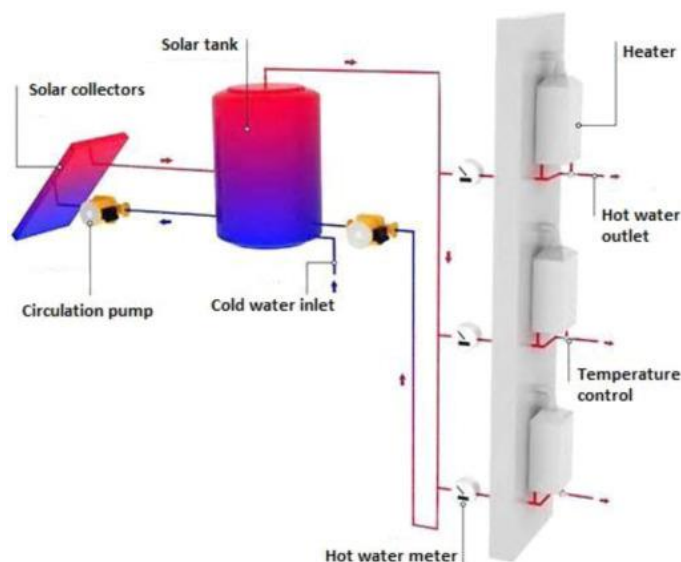


Рисунок 1.12 - Солнечная система с газовыми обогревателями

В модуле Solar Collector (рисунке 1.12) пользователь может выбрать тип коллектора (плоский или вакуумный) для последующего доступа к списку с различными моделями коллекционеров, доступных на рынке. При выборе модели приложение автоматически отображает конкретные характеристики этого коллектора, такие как площадь водосбора, средняя энергоэффективность, тепловое сопротивление и оптические характеристики. Существует даже опция «новый сборщик», которая позволяет пользователю вставлять новый сборщик, если он не находит нужное оборудование.

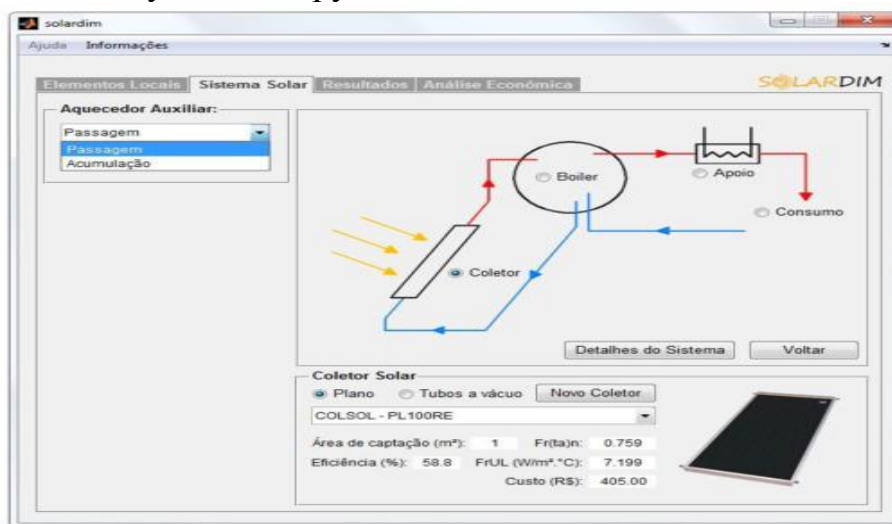


Рисунок 1.13 - Окно солнечной системы в MatLab

На рисунке 1.13 показано окно солнечной системы в MatLab. Shiv Kumar и др. [69] разработали термическую модель интегрированной системы для прогнозирования солнечной активности в климатических условиях Нью-Дели.

На рисунке 1.14 показана принципиальная схема солнечной системы отопления, установленной на крыше дома на острове Чеджудо. Эта система

состоит из теплового резервуара, панелей для отопления, вакуумированных трубчатых коллекторов, масляного котла и блока управления. Общая площадь поверхности вакуумированных трубчатых коллекторов составляет 26 м<sup>2</sup>. Коллекторные панели устанавливаются параллельно, обращены на юг. Масляный котел используется в качестве вспомогательного источника тепла. Термоаккумулирующий резервуар имеет вертикальный тип. Он изготовлен из нержавеющей стали с полиуретановой изоляцией и имеет объем 1,2 м<sup>3</sup> для снижения потерь тепла окружающей среды. Есть два змеевидных теплообменника. Один погружен в нижнюю часть теплового накопительного бака в коллекторном контуре, другой расположен в верхней части накопительного бака для подготовки бытовой горячей воды (рис. 1.14). Когда температура горячей воды в термоаккумулирующем баке превышает заданное значение безопасной температуры, собранная солнечная энергия из коллектора будет передаваться в термоаккумулирующий бак, который выпускается через блок фанкойла.

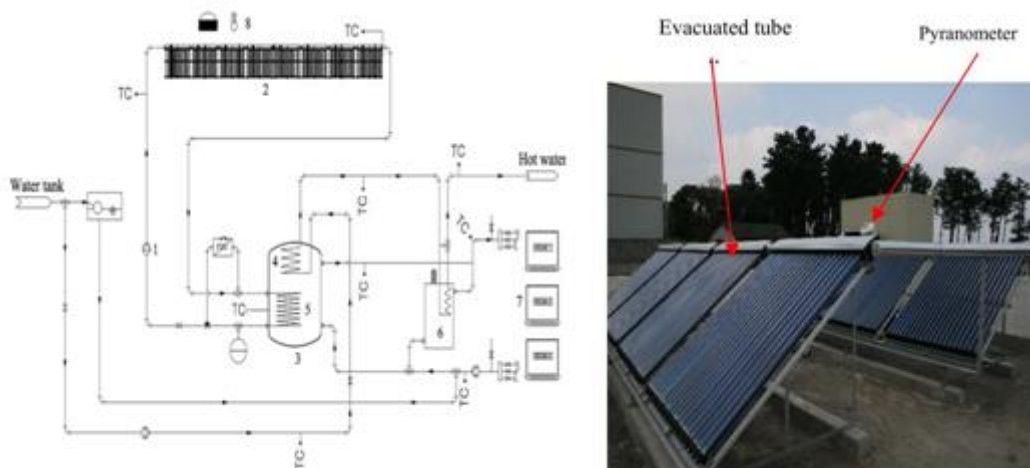


Рисунок 1.14 - Принципиальная схема системы солнечного отопления

Автоматический контроллер будет контролировать разницу температур между вакуумированными трубчатыми коллекторами и резервуаром для хранения тепла, как показано на рисунке 1.15.

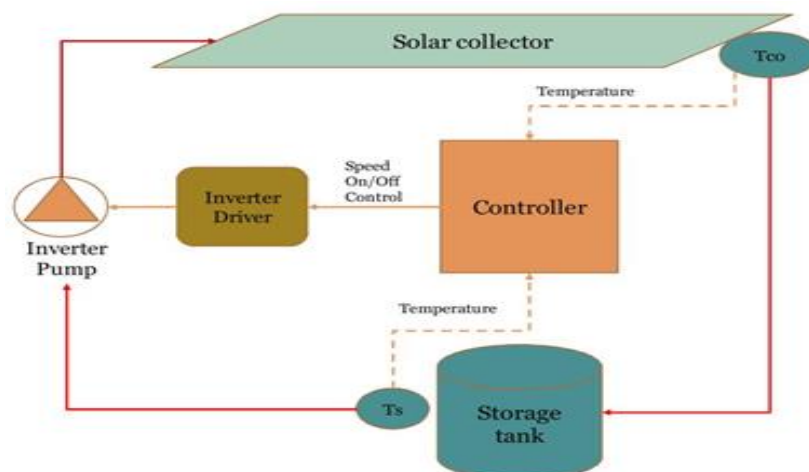


Рисунок 1.15 - Принципиальная схема автоматизированной солнечной системы отопления с инверторным коллекторным насосом в коллекторном контуре



Рисунок 1.16 - Вид передней части автоматического контроллера

На рисунке 1.16 показан вид передней части автоматического контроллера. В данной работе основное внимание уделяется стабильности и точности автоматического регулятора с инверторным коллекторным насосом для переменного массового расхода в коллекторном контуре, а также вкладу полезного теплового прироста коллектора в солнечную систему отопления [70].

Структурная схема системы управления показана на рисунке 1.17, а детальный вид третьего варианта прототипа и схема подключения варианта контроллера показаны на рисунках 1.18 и 1.19 соответственно. Новый контроллер для потока воды, основанный на открытой аппаратной платформе Arduino, был разработан, построен, установлен и протестирован в экспериментальном прототипе в двух солнечных установках.

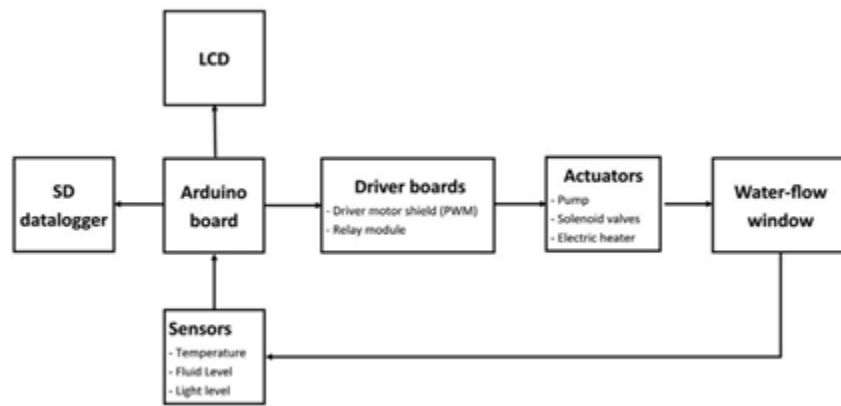


Рисунок 1.17 - Структурная схема системы управления

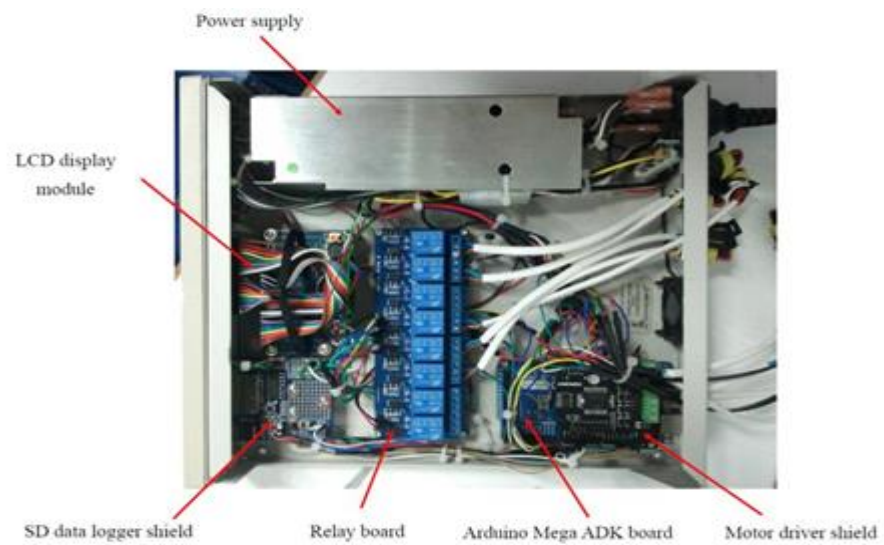


Рисунок 1.18 - Прототип третьей версии – детальный вид

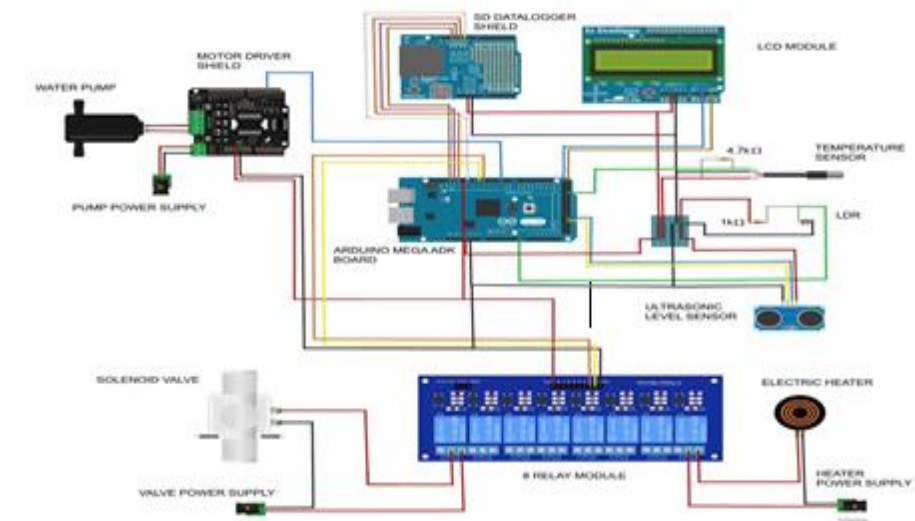


Рисунок 1.19 - Схема подключения варианта предлагаемого контроллера

Предлагаемый контроллер способен выполнять непрерывные задачи контроля солнечными установками, управляя экспериментальным прототипом установки без какого-либо ручного вмешательства. Он измеряет несколько параметров и осуществляет действия, необходимые для управления системой в соответствии с запрограммированным алгоритмом. Поэтому контроллер предлагается в качестве недорогой, легко программируемой и расширяемой электронной платформы для исследований солнечных зданий.

В работе [71] разработали электронную мультиплексную систему с использованием платформы Arduino для управления и записи данных профилей температур в накопителе тепла для солнечного коллектора.

Часы реального времени (RTC), использующие инкапсулированный чип DS1307, записывают дату и мгновенное время измерений температурных данных, отправляя их на МЕГА-плату, как показано на рисунке 1.20. Тридцать датчиков соединены с МЕГА-платой тремя электрическими проводами, устраняя тем самым неудобство многих аналоговых соединений. МЕГА Arduino 2560, запрограммированная на языке C++, после обработки температурных данных, даты и времени, полученных от теплового зонда и RTC соответственно, сохраняет их в формате XML (Extensible Markup Language) на SD-карте памяти (рис. 1.21).

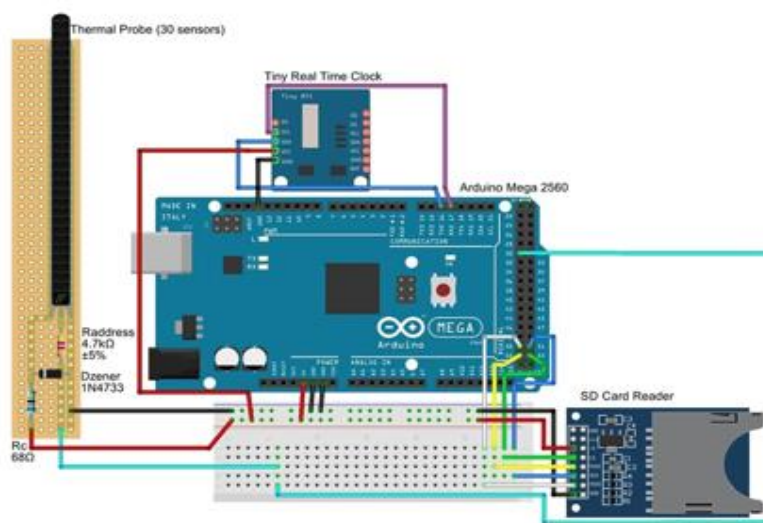


Рисунок 1.20 - Соединения Arduino с указанными датчиками

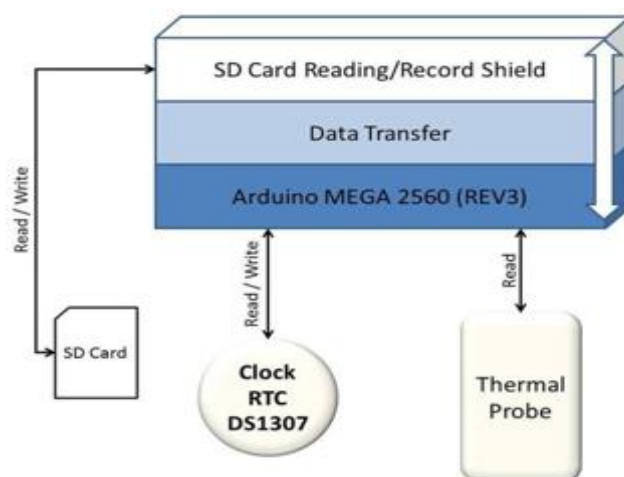


Рисунок 1.21 - Блок-схема хранения данных на SD-карте

В работе [72] разработан автоматизированный контроллер температуры гибридной наножидкости в вакуумированном трубчатом солнечном коллекторе. Система состоит из механической части и электрической части. Механическая часть включает в себя наружный каркас, основание, выполненное из металлического железа, как показано на рисунке 1.22. Электрическая часть состоит из источника питания в дополнение к микроконтроллеру (Arduino). На рисунке 1.23 показана плата управления электрической частью.



Рисунок 1.22 - Трубчатый солнечный коллектор



Рисунок 1.23 - Автоматизированный контроллер солнечного коллектора

В статье [73] разработан дизайн программы, который был основан на руководстве по языку программирования Arduino. Программа была создана в ARDUINO (IDE) software 1.8.4.



Рисунок 1.24 - Автоматизированный контроллер с защитным корпусом

Для правильной установки, защиты и удобства доступа при замене чипов или извлечении карты microSD устройство хранилось в модифицированном пластиковом контейнере со съемной крышкой (рис. 1.24). Связь и инициализация устройства осуществляются с помощью комбинации кабелей USB/LAN, как уже упоминалось ранее, через шахту в лабораторное помещение [74, 75].

Анализ результатов патентного исследования показал конструктивные достоинства уже существующих солнечных коллекторов, тепловых насосов и систем управления. Исходя из этого можно говорить о создании принципиально нового автоматизированного устройства с цифровыми технологиями, более совершенного с технической точки зрения. При этом выполняющего все функции управления программным обеспечением: сетевой сбор, хранение и обработка информации от солнечных коллекторов, дистанционный мониторинг, а также автоматизация и управление с использованием алгоритмов машинного обучения для выявления аномалий в работе солнечной установки.



## 1.2 Гелиоэнергетические ресурсы Республики Казахстан

Предложен комплексный подход по определению гелиоэнергетических ресурсов Республики Казахстан. Большое разнообразие природных факторов обуславливает задачу их правильного учета при разработке гелиоустановок. Однако эту работу рекомендуется осуществить на базе радиационно-климатического зонирования республики, которое представляется сложным процессом. При этом методической основой служат выявление критериев основных климатических элементов, учет и оценка радиационного режима на рассматриваемой территории.

При определении целесообразности использования гелиоустановок на той или иной местности выполняются предварительные расчеты, которые учитывают среднегодовое, среднемесячное суммарное количество солнечной радиации, количество ясных и пасмурных дней, продолжительность безморозного периода, стоимость ГУ, их КПД и др. При этом используются справочные данные и паспортные данные гелиоустановок об их технических характеристиках.

Для оценки потенциала солнечной энергии, падающей на территорию в том или ином районе, необходимо иметь сведения о потенциале солнечной энергии.

По эффективному использованию солнечной энергии в сочетании с другими элементами климата для нужд гелиотеплоснабжения, критериями зонирования явились интенсивность солнечной радиации, параметры метеорологических факторов климата (температура наружного воздуха, ветровой режим и другие атмосферные явления). В основу всех расчетов показателей гелиосистем при оценке гелиоэнергетических ресурсов территории Казахстана приняты количественные характеристики прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность. В данных расчетах можно произвести перерасчет с горизонтальной на наклонной плоскость любой ориентации (табл. 1.1).

По результатам статистической обработки средних значений прямой суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния в соответствии с рис. 26 выделены пять зон. Составлена гистограмма характеризующих возможности внедрения гелиоустановок по территории РК.

Первая зона занимает лесостепные зоны, расположенные в Северном Казахстане со средним июльскими суммами прямой и суммарной радиации 11–14 и 20–22 Мдж/м<sup>2</sup>, т.е. 350–400 и 600–700 Мдж/м<sup>2</sup> в месяц. По основным характеристикам в этом районе использование солнечной энергии возможно для практических целей систем ССТС, но ограничивается метеорологическим фактором – ветром и частым резким понижением температуры воздуха в весенне-осенний период. Продолжительность солнечного сияния в году колеблется от 1900 до 2200 часов.

Ко второй зоне отнесена территория Тургайской ложбины, южные окраины Западно-Сибирской низменности. За сутки в этой зоне поступает 22–24 Мдж/м<sup>2</sup> суммарной радиации, но уже большая ее часть в виде прямой 13–15 Мдж/м<sup>2</sup>, что составляет за месяц 600–700 и 400–500 Мдж/м<sup>2</sup>. Данный район характеризуется значительным, по сравнению с первой зоной, числом часов солнечного сияния – в среднем 2200–2500 часов. Однако метеорологические факторы также неблагоприятны. В весенне-осенний период в Тургайской ложбине застаивается холодный воздух, обуславливающий частые продолжительные заморозки.

Третья зона умеренно-благоприятного использования солнечной энергии включает в себя Прикаспийскую низменность, плато Мугоджары, Казахский мелкосопочник, горные хребты Алтая. За сутки здесь в среднем в июле поступает 23–26 Мдж/м<sup>2</sup> суммарной радиации, из которых 15–18 Мдж/м<sup>2</sup> в виде прямого излучения. В сумме за месяц показатели равны 700–800 и 400–550 Мдж/м<sup>2</sup>. Продолжительность солнечного сияния в году колеблется от 2500 до 2700 часов.

К четвертой зоне отнесены Кызыл-Кум, Туранская низменность, равнина Балхаш-Алакольской впадины, горные цепи Тарбагатая, Джунгарского и Заилийского Алатау, предгорья Тянь-Шаня. Здесь за сутки в среднем поступает 23–26 Мдж/м<sup>2</sup> суммарной радиации, причем большая в виде прямой радиации – 15–18 Мдж/м<sup>2</sup>. Таким образом, за месяц соответственно поступает 700–800 и 500–600 Мдж/м<sup>2</sup> солнечной энергии. Годовая сумма прямой радиации здесь выше, особенно в горах. Продолжительность солнечного сияния 2700–2900 часов. Район характеризуется как территория благоприятного использования солнечной энергии.

Пятая зона – это пустыни Ак-кум, Бетпак-Дала со средними суточными суммами интенсивности солнечной энергии соответственно 18–22 и 25–28 Мдж/м<sup>2</sup>, а суммами за месяц 550–700 и 750–900 Мдж/м<sup>2</sup>. Район также благоприятен для использования солнечной энергии и, как видно, в основном охватывает юг республики. Продолжительность солнечного сияния в летние месяцы составляет около 390 часов, годовая – 2900–3200 часов при минимальном количестве пасмурных дней. Как показал анализ, целый ряд количественных характеристик, отражающих особенности режима солнечной радиации, продолжительности солнечного сияния и облачности, подтверждает выполненное разделение.

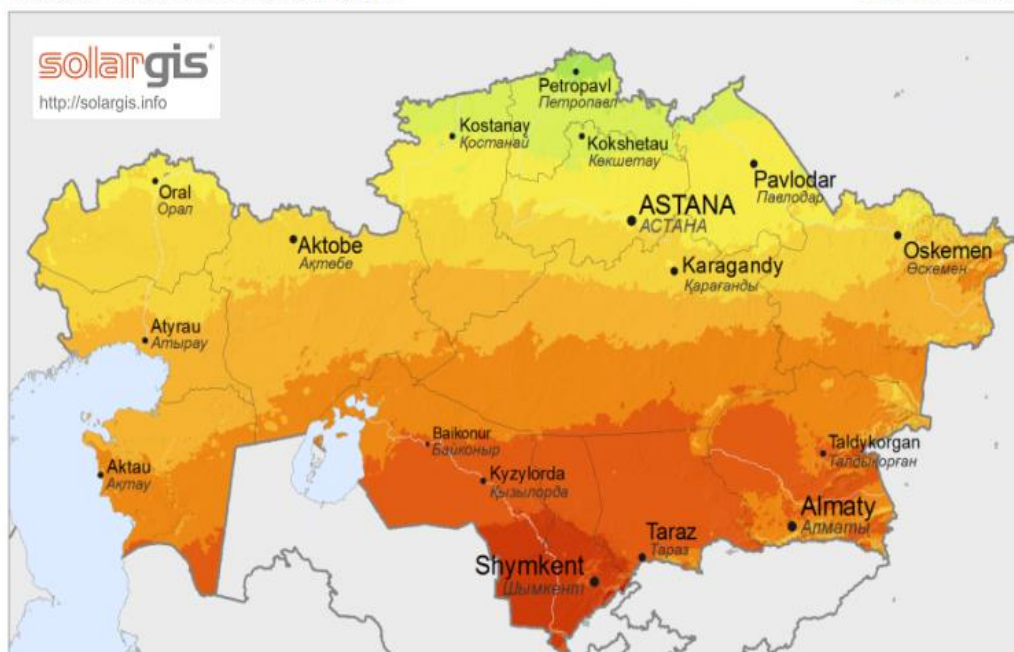
Структурные временные характеристики предполагаемого количества дней «солнечного» и «электрического» нагрева гелиоустановок приведены для всех зон. Наибольший интерес с энергетической точки зрения представляет количество дней с солнечным и электрическим нагревом воды в гелиоустановках в течение года. Для первой зоны характерно использование солнечной энергии на протяжении 180 дней, оставшиеся 180 дней – электрический нагрев. Для второй, третьей и четвертой зоны количество дней использования солнечной энергии возрастает до 270, а количество дней электрического нагрева воды уменьшается до 94. В пятой зоне возможно

использование солнечной энергии наиболее эффективно в течение года. Критерием такой оценки является средний промежуток времени, когда радиация не падает ниже  $0,4 \text{ кВт/м}^2$  и превышает 6 часов в день.

Определение характеристик радиационного режима были проведены на примере ГМО Алматы. Солнечная радиация является главным источником для процесса нагрева теплоносителя в ГУ. Для этого необходимо получить среднефоновый режим солнечной радиации по имеющимся данным многолетнего наблюдения для города Алматы.

Радиационный режим крупного города характеризует ст. Алматы ГМО, расположенная в предгорьях Заилийского Алатау. С возрастанием высоты приход солнечной радиации увеличивается за счет увеличения прозрачности атмосферы. Обычно в летнее время в первую половину атмосфера более прозрачна, чем во вторую, что связано с увеличением запыленности атмосферы и конвективной облачности. На рисунке 1.25 показан гелиоэнергетический ресурс Республики Казахстан.

Global horizontal irradiation Kazakhstan








-  Первая зона. Условия в целом удовлетворяют требованиям необходимости использования гелиоустановок.
-  Вторая зона. Условия более или менее эффективного использования гелиоустановок.
-  Третья зона. Условия обеспечивают стабильную эксплуатацию.
-  Четвертая зона. Условия более эффективного использования гелиоустановок.
-  Пятая зона. Условия наиболее эффективного использования гелиоустановок

Рисунок 1.25 - Гелиоэнергетический ресурс Республики Казахстан

Таблица 1.1. – Гелиоэнергетические и метеорологические зональные характеристики территории Казахстана

Район возможный для практического использования	Сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность ( $S'$ ), Мдж/м <sup>2</sup>									Сумма суммарной радиации на горизонтальную поверхность (Q), Мдж/м <sup>2</sup>								
	сутки		min max		зима	весна	лето	осень	год	сутки		min max		зима	весна	лето	осень	год
					12,1,2	3,4,5	6,7,8	9,10,11							12,1,2	3,4,5	6,7,8	9,10,11
1. Условия в целом удовлетворяют требованиям необходимости использования гелиоустановок (Кустанай, Астана)	1,2	11,2	37,7	347,7	138	842	1064	322	2367	3,6	20,1	113,2	624	389	1520	1839	662	4412
	1,4	13,5	41,9	419,0	276	771	1185	339	2509	4,5	22	138,3	683	473	1529	1935	733	4671
2. Условия более или менее эффективного использования гелиоустановок (Джаныбек, Семипалатинск )	1,2	13,9	37,7	431,6	150	880	1252	440	2723	4,0	22,6	125,7	699	414	1525	2002	775	4717
	2,3	14,5	71,2	448,4	243	1018	1315	490	3067	5,3	22,8	163,4	708	817	1730	2065	863	5191
3. Условия обеспечивают стабильную эксплуатацию гелиоустановок (Атырау, Актобе, Актау)	1,9	17,4	58,7	540,5	230	1127	1596	662	3616	5,1	25,5	159,3	792	469	1780	300	1047	5664
	1,75	15,8	54,5	490,2	197	934	1446	553	3129	5	24,5	155	758	532	1634	2191	905	5262
	1,6	15,8	50,3	490,2	192	1009	1454	636	3293	4,19	23	129,9	716	452	1646	2099	997	5195
4. Условия более эффективного использования гелиоустановок (Аральское море, Джезказган, Буран )	2,7	17,9	83,8	557,3	276	1156	1650	708	3791	6,0	25,4	188,5	787	624	1872	2317	1076	5891
	3,1	15,9	96,4	494,4	297	1043	1462	632	3435	6,0	23,7	188,5	737	607	1726	2149	993	5476
	2,9	17,0	92,2	528	293	1152	1546	662	3653	5,9	24,5	184,4	762	607	1784	2208	1013	5614
5. Условия наиболее эффективного использования гелиоустановок (Барса-Кельмес, Ак-Кум, Куйган)	2,9	17,4	92,2	540,5	272	1169	1713	699	3854	5,9	24,6	184,4	762	578	1822	2312	1030	5744
	4,19	21,3	129,8	662,0	360	1210	1965	972	4508	7,3	27,9	226,3	867	695	1851	2543	1324	6414
	3,6	19,7	113,1	611,7	347	1122	1751	825	4047	7,3	26,7	226,3	829	720	1826	2384	1206	6138

На рисунке 1.26 изображена гистограмма зон использования гелиоустановок зависимости от средних значений прямой, суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния.

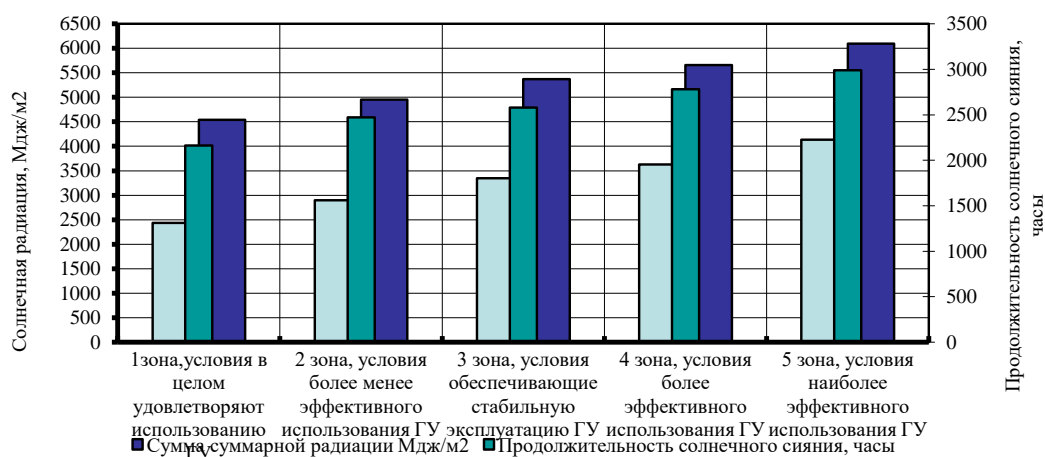


Рисунок 1.26 - Гистограмма зон использования гелиоустановок зависимости от средних значений прямой, суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния

Первый критерий. Средний промежуток времен. Когда радиация не ниже  $0,4 \text{ кВт/м}^2$ , превышает 6 ч в день. В табл. 1.2 приведены усредненные многолетние данные суточной суммарной радиации.

Второй критерий. Среднее число ясных дней должно составлять не менее половины среднего числа пасмурных дней. С учетом этого обеспеченность суточных сумм суммарной радиации  $4,6 \text{ кВт}\times\text{ч/м}^2$  и выше. По многолетним данным ст. Алматы составляет (%):

Таблица 1.2. – Усредненные суточные суммарные радиации

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Суточное суммарное радиация	-	8	20	50	72	83	79	60	55	40	15	-

На основе данных таблицы можно сделать вывод, что наиболее благоприятный период в г. Алматы для использования солнечной энергии с марта по ноябрь; по обеспеченности суточных сумм суммарной радиации – с апреля по сентябрь.

По материалам многолетнего наблюдения продолжительности солнечного сияния по гелиографу выделяем периоды солнечного непрерывного сияния 5, 6, 7 и т.д. При этом исключаем время в течение часа после и до восхода солнца. Результаты по г. Алматы представлены в таблице 1.3.

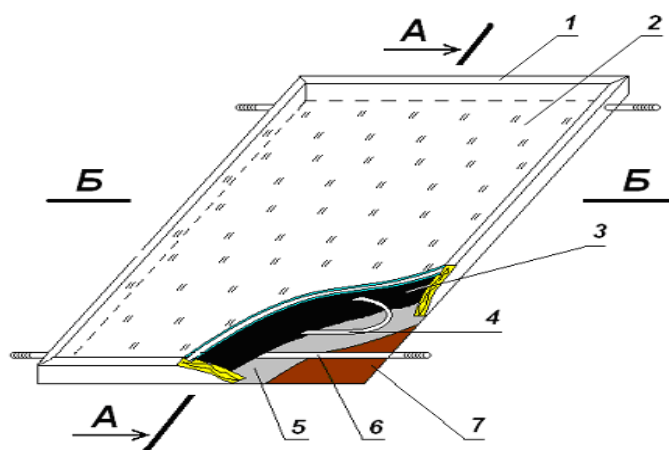
Таблица 1.3. – Продолжительность работы гелиоустановок (ч) в зависимости от солнечного непрерывного сияния (за 10-летний период)

Продолжительность солнечного сияния	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
г. Алматы	4	4,8	7	8,2	8,4	8,3	8	6	5	4,8	4

Анализ данных таблице 1.3 показывает, что в марте и ноябре использование солнечных установок в г. Алматы нецелесообразно, наиболее успешно они будут работать с апреля по октябрь [59].

### 1.3 Коэффициент улавливания солнечной радиации гелиоколлектора

Плоский гелиоколлектор – основной теплогенерирующий узел гелиоустановки энергетических, эксплуатационных показателей, от которых прямо зависят соответствующие параметры гелиоустановки. Поэтому подавляющее большинство зарегистрированных в мире изобретений и патентов сосредоточено в основном в области создания новых конструкции и технологий для гелиоколлекторов. Классическим примером гелиоколлектора является плоский коллектор с битумным абсорбером (рис. 1.27).



Фиг. 1

Рисунок 1.27 - Модель плоского солнечного гелиоколлектора

1 – периметрическая рама, 2 – прозрачный стеклопакет с двойным стеклом и уменьшенным давлением. Днище деревянной рамы, 7, сделано из фанеры толщиной 8 мм, к ним приклеена теплоизолирующая пленка, 5, с фольгой. В зазоре, который образуется между стеклопакетом и днищем рамы, проложена гибкая тонкостенная нержавеющая гофрированная трубка 4 Ø 16 мм в виде змеевика. Концы трубки прикреплены к входным и выходным торчащим трубам, 6. Остальное пространство полностью залито битумом, 3, с маркой толщиной 30 мм.

На рисунке 1.27. изображена модель плоского солнечного гелиоколлектора. Для достижения поставленной цели предлагается реализовать новый подход к конструированию гелиоколлекторов с использованием современных материалов и добиться существенного снижения (в 2–3 раза) стоимости установки.



Рисунок 1.28 - Натурная модель плоского солнечного гелиоколлектора

На рисунке 1.28 изображена натурная модель плоского солнечного гелиоколлектора [110].

Таблица 1.4. – Техническая характеристика плоского гелиоколлектора

Величины	Показатели
Число слоев прозрачной изоляций	2
Площадь одного коллектора, м <sup>2</sup>	до 2
Средняя температура нагрева воды, °С	60-80
Пропускательная способность относительно солнечного излучения при падении солнечных лучей по нормали к поверхности	0,89
Удельный объем для теплоносителя, л/м <sup>2</sup>	2,0
Поглощающая способность относительно солнечного излучения	0,99
Рабочее давление, МПа	0,7
Габаритные размеры, м	1x2
Произведение коэффициента оптического КПД и коэффициента эффективности поглощающей панели	0,8
Произведение общего коэффициента тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели	0,75
Отношение площади тепловоспринимающей поверхности к габаритной площади	0,95

Масса коллектора, кг	60
Срок службы, лет	15

Поток солнечной радиации, падающий на плоский теплоприемник, включает в себя две составляющие:

$$E_{mn} = E_{np} + E_{pac}, \quad (1.1)$$

где  $E_{np}$  – поток прямой солнечной радиации;  $E_{pac}$  – поток рассеянной радиации.

В свою очередь солнечная энергия поглощается и преобразовывается в тепловой поток теплоносителя в плоском теплоприемнике в верхней и нижней частях

$$E_{mn} = E_{сум} + E_{отр}, \quad (1.2)$$

где  $E_{сум}$  – суммарный поток, улавливаемый поверхностью теплоприемника через прозрачное покрытие;  $E_{отр}$  – поток, отраженный от зеркал в нижней части.

В результате решения имеем

$$q_{e.m.k} = \frac{E_{ногл} - K_{np} \cdot (t_k^n - t_0)}{d_1 + \frac{K_{np}}{\frac{\lambda_k}{\delta_k} \cdot \pi d_2}} \quad (1.3)$$

Общее количество теплоты подведенного к теплоотводящим каналам теплоприемника, складывается из тепла, поглощаемого непосредственно поверхностью теплоотводящего канала и отраженного от полуцилиндрических отражателей.

Рассмотрим основное уравнение, описывающее энергетический баланс плоского гелиоколлектора. Известно, что на поверхность прозрачной изоляции теплоприемника падают: поток прямых солнечных лучей, поток солнечных лучей, отраженных от зеркал, и поток рассеянной (диффузной) радиации от неба, от окружающих предметов, которые поглощаются отдельными слоями поверхностью нагрева.

Потоки тепла, выделяющиеся в отдельных слоях изоляции и на поверхности приемника, пропорциональны поверхностной плотности  $E$  радиации. Соответствующие коэффициенты пропорциональности  $k$  являются коэффициентами поглощения радиации в отдельных слоях системы.

Поверхность нагрева солнечного приемника изолирована слоем прозрачной изоляции с воздушными прослойками, которые имеют поперечные антиконвективные перегородки, образующие герметичные полости. Поскольку прозрачные покрытия непрозрачны, для собственного температурного излучения



приемника и элементов изоляции процесс теплопередачи можно рассматривать в каждой прослойке.

Уравнение энергетического баланса отдельного слоя элемента теплоприемника будет иметь следующий вид:

$$q_v + \frac{t_{v+1} - t_v}{\frac{1}{k_{v+1}} - \frac{1}{k_0}} = \frac{t_v - t_{v-1}}{\frac{1}{k_v} - \frac{1}{k_{v-1}}} + c_v \cdot p_v \cdot \frac{dt_v}{d\tau}. \quad (1.4)$$

Собственно, для самого приемника уравнение энергетического баланса может быть представлено, как

$$\frac{t_k - t_p}{\frac{1}{k_p} - \frac{1}{k_k}} = q_p + \frac{t_p - t'_k}{\frac{1}{k_n} - \frac{1}{k'_k}} + c_k \cdot p_k \cdot \frac{dt_k}{d\tau} + c'_k \cdot p'_k \cdot \frac{dt'_k}{d\tau}. \quad (1.5)$$

Решая уравнения (1.4) и (1.5), находим

$$q_p = \sum \frac{k_p}{k_v} \cdot q_v - (k_p + k_k) \cdot (t_p - t_v) - \sum c_v \cdot p_v \cdot \frac{dt_v}{d\tau}, \quad (1.6)$$

где  $t$  – температура, °С;  $q$  – поверхностные плотности тепловых потоков, выделяющиеся в отдельных слоях, и потока, отводимого из приемника теплоносителем, Вт/м<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент теплопередачи от отдельных слоев в окружающую атмосферу, Вт/(м·°С);  $c$  – теплоемкость материала слоев, Вт/(кг·°С);  $p$  – вес соответствующих слоев, отнесенный к единице их площади, кг/м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время, ч.

Уравнение (1.6) для практических расчетов неудобно, так как содержит производные. Упростив его, получим следующую форму:

$$\sum c_v \cdot p_v \cdot \frac{k_p}{k_v} \cdot \frac{dt_v}{d\tau} + \sum c'_v \cdot p'_v \cdot \frac{k_k}{k'_v} \cdot \frac{dt'_v}{d\tau} = \frac{dt_p}{d\tau} \left[ \sum c_v \cdot p_v \left(\frac{k_p}{k_v}\right)^2 + \sum c'_v \cdot p'_v \cdot \left(\frac{k_k}{k'_v}\right)^2 \right] = C, \quad (1.7)$$

где  $C$  – эффективная теплоемкость установки, отнесенная к единице площади приемной поверхности.

Поверхностные плотности потоков тепла, выделяющиеся в отдельных слоях прозрачной изоляции и на поверхности приемника, могут быть представлены как произведения поверхностной плотности радиации на соответствующие коэффициенты поглощения слоев, и, соответственно, первый член уравнения (1.7) можно представить так:

$$\sum \frac{k_p}{k_v} q_v = E \sum \frac{k_p}{k_v} k_v = \gamma E, \quad (1.8)$$

где  $\gamma$  – коэффициент улавливания;  $E$  – поверхностная плотность улавливаемой радиации.

Из рассмотренного уравнения (1.8) следует, что при установившемся режиме поверхностная плотность улавливаемой радиации равна поверхностной плотности теплового потока, отводимого из элемента приемника рабочим веществом (теплоносителем), или средняя температура последнего не отличается от температуры окружающего воздуха. В рассмотренном случае коэффициент улавливания равен КПД установки.

Коэффициент улавливания – основная оптико-тепловая характеристика солнечной установки. Назовем сумму  $k_p + k_\gamma$  коэффициентов теплопередачи от теплоносителя к окружающему воздуху через прозрачную и непрозрачную изоляцию общим коэффициентом  $k$  тепловых потерь элемента солнечной установки. Произведение  $k$  как разность температур теплоносителя и окружающего воздуха является условными тепловыми потерями, которые меньше истинных на столько, на сколько при установившемся режиме улавливания радиация меньше поглощенной.

Введя указанные обозначения, представим уравнение (1.8) в следующем виде:

$$q_v = \gamma E - k \cdot (t_p - t_v) - c \frac{dt_p}{d\tau}. \quad (1.9)$$

Продифференцируем его по времени,  $\tau$ :

$$q_v - \gamma E = -k \cdot (t_p - t_v) - c \frac{dt_p}{d\tau}, \quad (1.10)$$

$$q_v - \gamma E + k \cdot (t_p - t_v) - c \frac{dt_p}{d\tau}, \quad (1.11)$$

$$\frac{q_v - \gamma E + k(t_p - t_v)}{c} = -\frac{dt_p}{d\tau}. \quad (1.12)$$

Полученное уравнение проинтегрируем по времени,  $\tau$ , и найдем время,  $\tau$ :

$$\frac{1}{k} \int \frac{-d((t_p - t_v)k + q_p - \gamma E)}{q_p - \gamma E + k \cdot ((t_p - t_v))} = \int d\tau. \quad (1.13)$$

Далее находим коэффициент улавливания радиации за время,  $\tau$ :

$$-\frac{c}{k} \ln |q_p - \gamma E + k \cdot ((t_p - t_v))| = \tau. \quad (1.14)$$

$$\ln|q_p - \gamma E + k \cdot ((t_p - t_v))| = -\frac{\tau K}{c} . \quad (1.15)$$

$$\ln|q_p - \gamma E + k \cdot ((t_p - t_v))| = -\frac{\tau K}{c} \ln e . \quad (1.16)$$

$$\ln|q_p - \gamma E + k \cdot ((t_p - t_v))| = \ln e^{\frac{\tau k}{c}} . \quad (1.17)$$

$$\gamma E = q_p + k(t_p - t_v) - e^{\frac{\tau k}{c}} . \quad (1.18)$$

Решение уравнения (1.18) относительно коэффициента улавливания можно представить окончательно в следующем виде:

$$\gamma = \frac{q_p + k(t_p - t_v) - e^{\frac{\tau k}{c}}}{E} . \quad (1.19)$$

Применение анализа эксергии для солнечных гелиоколлекторов помогает дизайнерам разработать оптимальную конструкцию и дает направление для уменьшения потерь эксергии. Концепция эксергии является одним из двух способов второго закона термодинамики и энтропии от необратимости процессов. Тем не менее оба метода дают принципиально идентичные результаты. Использование концепции эксергетическим методом является предпочтительным, поскольку он непосредственно даст системе работу, достижимую для идеальных процессов.

В программе вычисления MatLab представлены расчеты термических, геометрических и эксергетических моделей данной установки. В программе некоторые из геометрических параметров и рабочие условия могут быть переменными. Целевая функция и ее ограничения являются нелинейными (рис. 1.29).

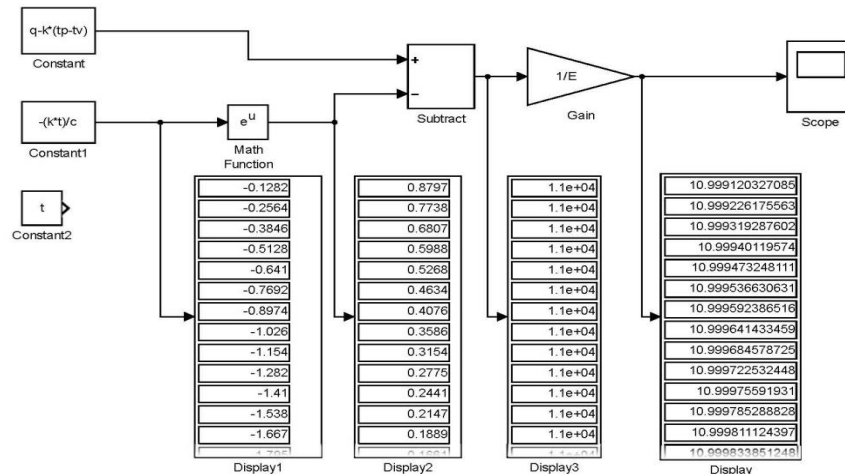


Рисунок 1.29 - Алгоритм расчета коэффициента улавливания радиации в пакете программ MatLab (Simulink)

В уравнении (1.19) коэффициент улавливания радиации приемником подчиняется экспоненциальной закономерности, которая в зависимости от времени представлена в соответствии с рис. 1.29. По уравнению (1.19) произведен расчет, позволивший определить функциональную зависимость коэффициента улавливания от времени, солнечной радиации и теплофизических параметров приемника. На рис. 1.30 показан расчетный коэффициент улавливания в зависимости от времени,  $\tau$ .

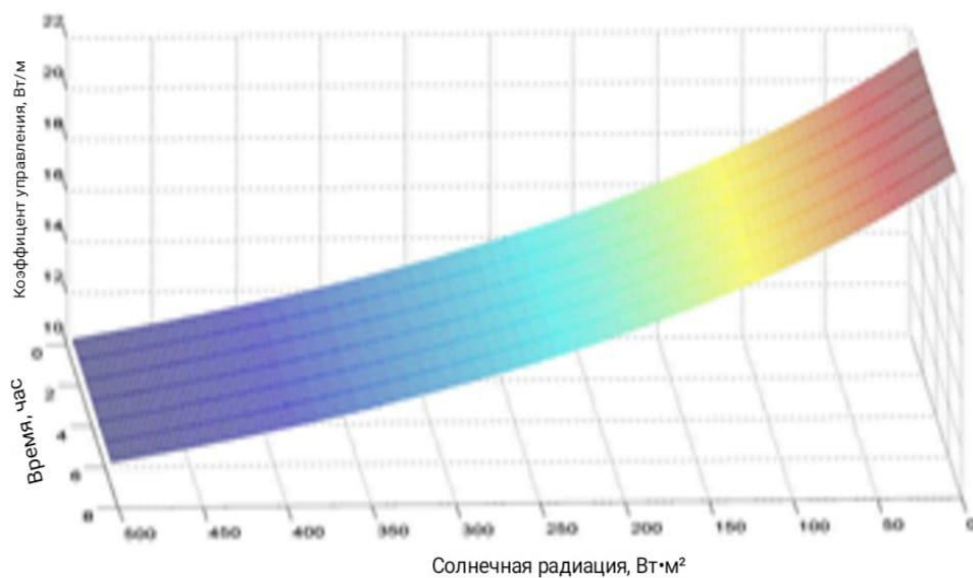


Рисунок 1.30 - Зависимость коэффициента улавливания от времени

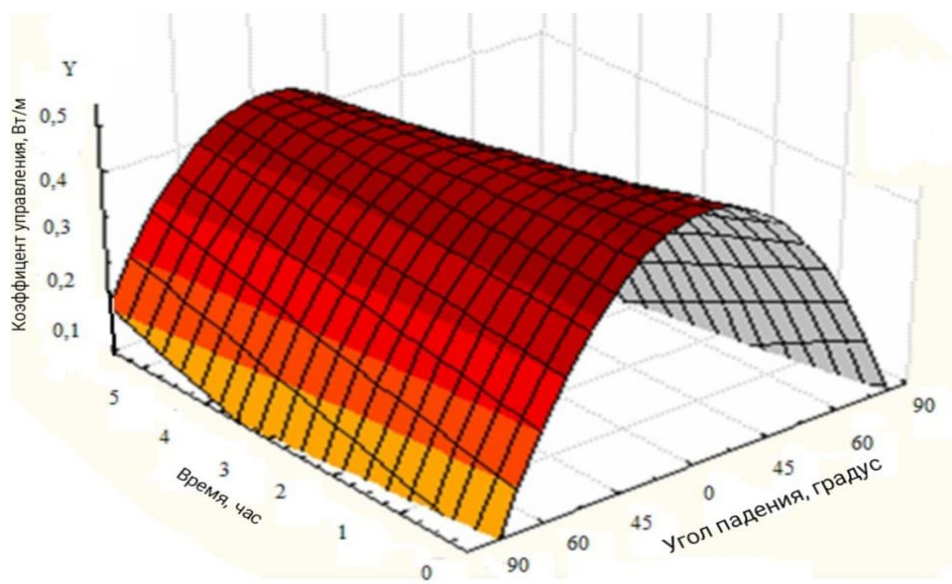


Рисунок 1.31 - Расчетный коэффициент улавливания в зависимости от времени,  $\tau$

Расчетный коэффициент улавливания в зависимости от времени показывает, что поверхностная плотность теплового потока, отводимого теплоносителем из приемника, может быть вычислена как поверхностная плотность уловленной

радиации за вычетом условных тепловых потерь и эффективного расхода тепла на нагрев системы. Поток уловленной радиации не зависит от теплоемкости системы

$$\gamma_i = \gamma_0 \cdot \cos y_i, \quad (1.20)$$

где  $\gamma_i$  – коэффициент улавливания радиации, падающей на приемник под углом  $i$ , а  $\gamma_0$  – та же величина, но для лучей, нормально падающих на приемник;  $y$  – показатель степени, зависящий от конструкции прозрачной изоляции, обычно в пределах 0,5–1,5. Для нашего случая, когда имеется только один слой прозрачного покрытия, возьмем показатель степени 1,5.

По известной индикатрисе улавливания можно вычислить коэффициент улавливания и поверхностную плотность теплоприемника для любого заданного распределения, а по направлениям энергетической яркости – радиацию, падающую на приемник в соответствии с рисунком 1.32 [52].

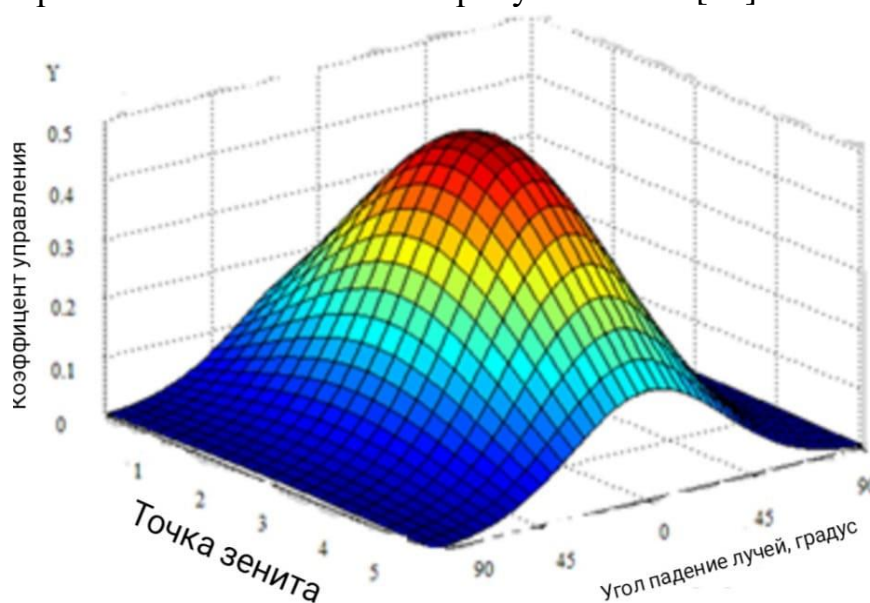


Рисунок 1.32 - Коэффициент улавливания радиации в зависимости от угла падения лучей на поверхность плоского теплоприемника от точки зенита

Коэффициент улавливания параллельных лучей для данной установки зависит лишь от их направления, поскольку от этого зависят и значения коэффициентов поглощения  $k_c$ , а отношения  $k_p/k_y$  для каждого слоя представляют собой постоянные множители. Зависимость от направления коэффициента улавливания параллельных лучей – индикатриса улавливания – является основной характеристикой приемника радиации. Для большинства приемников с прозрачной изоляцией индикатриса улавливания зависит лишь от угла  $i$  падения лучей на поверхность приемника. Эта зависимость с точностью, достаточной для большинства технических расчетов.

Анализ и оптимизацию эксергии солнечной энергии проводили на плоском коллекторе с модифицированным приемником полости с учетом содержания падающего солнечного излучения. Применяя уравнение теплового баланса, мы

получили расчетный коэффициент улавливания в зависимости от времени  $\tau$  и коэффициент улавливания радиации в зависимости от угла падения лучей на поверхность плоского теплоприемника от точки зенита. Повышение эффективности эксергий с повышением температуры на приемнике до оптимальной температуры достигает максимума, а затем начинает снижаться. Основные значения безразмерных потерь эксергии в данном анализе достигаются путем поглощения передачи тепла, потери эксергии из-за оптической и тепловой утечки потери. Фиксируется безразмерная потеря эксергии в связи с увеличением тепла, так как температура приемника возрастает, а безразмерное разрушение эксергий уменьшается. Метод анализа эксергии (анализ доступности) хорошо подходит для дальнейшей цели более эффективного использования солнечной энергии, поскольку он дает причину и истинную величину отходов и потерь, которые будут определены в дальнейшем. Эта информация может быть использована в термодинамической оптимизации систем солнечной энергии и для повышения эффективности существующих систем.

#### **1.4 Выводы по главе 1**

Во первой главе речь идет о предложенном комплексном подходе по определению гелиоэнергетических ресурсов Республики Казахстан. По результатам статистической обработки средних значений прямой, суммарной радиации и продолжительности солнечного сияния выделены пять зон. Составлена гистограмма характеризующих возможности внедрения гелиоустановок по территории РК. Рассчитан коэффициент улавливания – основная оптико-тепловая характеристика солнечной установки. При проведении экспериментальных работ было установлено, что при работе с тепловым насосом меняется направление теплового потока между гелиоколлектором и окружающей средой.

## ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВУХКОНТУРНОЙ ГЕЛИОУСТАНОВКИ С ТЕРМОСИФОННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Третья глава посвящена теоретическим основам и методам математического моделирования организационно-технологических систем солнечного теплоснабжения.

В главе рассматриваются математические модели отдельных конструкций и режимов функционирования двухконтурного солнечного коллектора с термосифонной циркуляцией. Для выполнения математического анализа двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией разработана новая конструкция плоского солнечного коллектора с термосифонной циркуляцией, в котором коэффициент теплопередачи был увеличен за счет устранения дополнительных перегородок между панелью и теплоизоляцией. Эффективность рассматриваемого солнечного коллектора достигается за счет наличия в конструкции бака дозатора и теплового насоса. Конденсатор и испаритель выполнены в виде теплообменника типа «спираль в спирали», а трубопроводы теплообменников помещены один над другой, посредством чего увеличивается площадь и интенсивность теплообмена.

Результатом данной работы является теоретический и математический анализ нестационарного теплового режима плоских солнечных коллекторов на рассматриваемых режимах функционирования. На основе результатов анализа можно оптимизировать отдельные элементы конструкции, а также прогнозировать тепловой режим и опираться на альтернативные решения конструирования плоских солнечных коллекторов и выбора режимов функционирования.

Основным вопросом термосифонной системы солнечного теплоснабжения является уровень высоты, на которой должен располагаться бак-аккумулятор солнечной энергии для максимальной эффективности работы гелиосистемы.

На 300 мм выше верхней части коллектора должно располагаться днище бака-аккумулятора. Через трубу поступает в верхнюю часть бака-аккумулятора, поднимается вверх по коллектору, при нагреве вода в коллекторе расширяется, становится менее плотной. В результате более прохладная вода у днища бака вытесняется и перетекает по другой трубе в нижнюю часть коллектора. В свою очередь, эта вода нагревается и поднимается в бак. Вследствие того, что бак приподнят над коллектором, эффект опрокидывания циркуляции в результате ночного охлаждения теплоносителя в коллекторе сводится к тому, что холодная вода просто скапливается в нижней точке системы (на дне коллектора), в то время как теплая вода остается в баке.

Когда вода нагревается, ее плотность в контуре коллектора уменьшается. Возникает избыточное гидростатическое давление  $P$ (Па):

$$\Delta P = g * [\rho_w(t_c(n_c)) - \rho_w(t_b)] * F, \quad (2.21)$$

$$F = \frac{d_b + d_c * \sin(S)}{2} + d_{c-b}, \quad (2.22)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $F$  – вертикальное расстояние между центрами солнечного коллектора и бака-аккумулятора, м;  $d_b$  – высота бака-аккумулятора, м;  $d_c$  – длина коллектора, м;  $d_{c-b}$  – расстояние между дном бака-аккумулятора и верхней частью коллектора, м.

Это давление уравнивается потерей напора, вызванного суммарным гидравлическим сопротивлением коллекторного контура, состоящего из сопротивлений медной трубчатой спирали коллектора, подводящего и отводящего теплоносителя трубопроводов и устройств их соединения с коллектором и баком-аккумулятором. При расчете потерь давления в контуре гидравлический контур разбивают на линейные и нелинейные участки.

Каждый элемент медной спирали состоит из линейной части и двух нелинейных частей (кроме верхнего и нижнего витков, которые содержат по одному нелинейному элементу).

Общее количество элементов спирали вычисляется по формуле

$$ne = \frac{L - (d_c - 2 * dkk)}{dk - 2 * dkk}, \quad (2.23)$$

где  $dkk$  – расстояние от краев коллектора до линейной части верхнего и нижнего элементов спирали, м;  $dk$  – расстояние с правой и левой сторон коллектора до элементов медной спирали, м.

В связи с тем, что количество элементов спирали в соответствии с конструктивными особенностями плоского коллектора должно быть целым четным, значение  $ne$  округляется до ближайшего четного числа.

Расстояние между элементами спирали определяется из выражения

$$de = \frac{dk - 2 * dkk}{ne}. \quad (2.24)$$

Длина дуги нелинейной ( $ln$ , м) и линейной ( $ll$ , м) частей элемента медной спирали

$$ln = \pi * \frac{se}{2}. \quad (2.25)$$

$$ll = \frac{L}{de - 2 * ln}. \quad (2.26)$$

Потеря давления в линейной части элемента спирали описывается уравнением [53]:

$$\Delta P = \frac{32\mu(t) * ll}{d^2} * v_{aver}, \quad (2.27)$$

где  $\mu$  – средняя по длине линейной части спирали динамическая вязкость теплоносителя, Н·с/м<sup>2</sup>;  $v_{aver}$  – средняя скорость теплоносителя, м/с.



Потеря давления в нелинейной части элемента спирали коллектора вычисляется из выражения (формула Берда – Карно[54]):

$$\Delta P_{in} = \xi * \frac{v_{aver}}{\rho}, \quad (2.28)$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления.

Местное сопротивление нелинейной части спирали коллектора представляет поворот трубы на  $90^\circ$  и рассчитывается по формуле

$$\xi = 0.051 + 0.19 \frac{d}{R}, \quad (2.29)$$

где  $R$  – радиус поворота медной трубы спирали, м,  $R = se/2$ . Для моделирования падения гидравлических сопротивлений в медной трубчатой спирали на блоках коллектора получены основанные уравнения

– на первом участке коллектора:

$$H_R = n * \frac{64 * (\mu(t_b(3)) + \mu(t_c(1))) * ll}{\pi * d^4} + (2 * n - 1) * 2\xi * \frac{\rho(t_b(3)) + \rho(t_c(1))}{\pi * d^4}, \quad (2.30)$$

– на  $i$ -м участке коллектора,  $i = 2, \dots, n_k - 1$ :

$$H_c(t) = n * \frac{64 * (\mu(t_c(t-1)) + \mu(t_c(t))) * ll}{\pi * d^4} + 4n * \xi * \frac{\rho(t_c(t-1)) + \rho(t_c(t_0))}{\pi * d^4}. \quad (2.31)$$

Определим количество тепла  $q_k$ (Дж), поступающего из коллектора в бак-аккумулятор, используя формулу

$$q_c = c_w(t_c) * \rho_w(t_c) * t_c * g_c. \quad (2.32)$$

На рисунке 3.1 теплообменники испарителя 1 и конденсатора 2 выполнены в виде кольцевых емкостей, образованных внутренней и внешней цилиндрическими оболочками с радиусами  $R1$  и  $R2$ , и установлены соосно друг над другом в нижней части испарителя, над конденсатором, образуя внутреннюю цилиндрическую воздушную полость. В полости теплообменника испарителя установлен компрессор 3. Для обеспечения оптимальной теплоотдачи от компрессора к испарителю в зазоре размещена сетчатая цилиндрическая оболочка-разделитель 8. Хладагенты 1-го и 2-го контуров циркулируют внутри кольцевых баков, отводя тепло от трубок 5 и 6. Таким образом, компрессор практически находится внутри «холодной ванны», стенки которой охлаждаются теплоносителем трубок 5. В результате тепло, выделяемое компрессором, поглощается испарителем теплового насоса, повышая его производительность, и компрессор одновременно охлаждается без использования вентилятора.

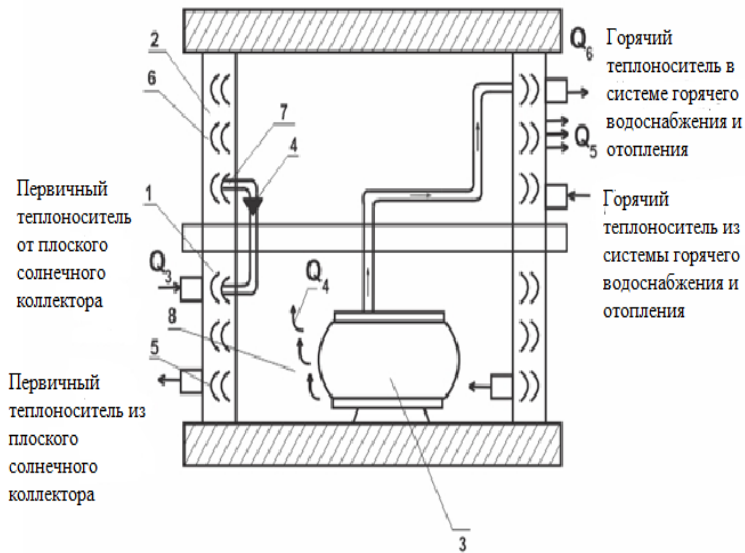


Рисунок 2.1 - Расчетная схема нового технического решения ТН для автоматизированного ДГУ и основные конструктивные параметры  
 1 – обменник; 2 – конденсатор; 3 – компрессор; 4 – дроссельная заслонка; 5 и 6 – патрубки охлаждающей жидкости испарителя и конденсатора; 7 – отверстие для ввода трубок в корпус конденсатора; 8 – сетка-оболочка-разделитель воздушного потока.

Таблица 2.1. – Основные конструктивные параметры ТН

Внешние диаметры испарителя и конденсатора ( $D_2$ ), мм	375,0
Внутренний диаметр ( $D_1$ ), мм	325 и 307
Высота теплообменных (ТО) рубашек, мм	355 и 382
Ширина ТО рубашек ( $Z$ ), мм	20 и 30
Объемы ТО рубашек, $дм^3$	0,52 и 0,8
Диаметр обечайки-делителя, мм	238
Превышение высоты испарителя над высотой компрессора, мм	80,0

В таблице 2.1 описаны основные конструктивные параметры теплового насоса.

На основе уравнения (2.31) составлено развернутое уравнение баланса:

$$Q_3 + W_{эл} \eta_{эл} \eta_k + Q_3 (1 - \eta_{эл}) - k_{T2} S_2 (t_5 - t_8) - W_{эл} [a - b(t_5 - t_1)] = C_2 \frac{dt_5}{d\tau}, \quad (2.33)$$

где  $t_8$  – температура окружающей среды;  $k_{T2}$  – коэффициент теплопередачи теплоизоляции теплообменника конденсатора ТН, ккал/град.

Выведена зависимость температуры теплоносителя:

$$t_5 = \frac{N}{M}, \quad (2.34)$$

где

$$N = k_{T_2} S_2 t_8 + [Q_3 + W_{эл} \eta_k + Q_3 (1 - \eta_k) + W_{эл} (1 - \eta_{эл}) - W_{эл} a - W_{эл} b t_1] \times \left\{ 1 - \exp \left( - \frac{[k_{T_2} S_2 + W_{эл} (a - b)] \tau}{C_2} \right) \right\}$$

$$M = W_{эл} b \exp \left( - \frac{[k_{T_2} S_2 + W_{эл} (a - b)] \tau}{C_2} \right) + k_{T_2} S_2 + W_{эл} b.$$

Произведена проверка формулы для  $\tau = 0$ , откуда получено что  $t_4 = t_8$ .

При  $\tau = \infty$  получаем формулу температуры при установившемся режиме работы:

$$t_5 = (k_{T_2} S_2 t_8 + [Q_3 + W_{эл} \eta + Q_3 (1 - \eta_k) + W_{эл} (1 - \eta_{эл}) - W_{эл} a - W_{эл} b t_1]) / (k_{T_2} S_2 - W_{эл} b). \quad (2.35)$$

Анализ показал, что новое решение без учета затрат энергии на привод охлаждающего вентилятора способствует повышению теплопроизводительности автоматизированного ДГУ.

## 2.1 Теоретические предпосылки энергосберегающего электрического нагрева воды в плоском солнечном гелиоколлекторе

Одной из главных функций гелиоколлектора является электрический нагрев воды в осенний период года или в пасмурные дни при отсутствии солнечной радиации. Исследования показали, что традиционный способ, основанный на нагреве при постоянной мощности ТЭНа, допускает существенные потери энергии, которые можно снизить управляя закономерностью нагрева от начальной ( $t_o$ ) до конечной ( $t_k$ ) температуры

$$\mathcal{E}_{АТЭ} = c \cdot m \cdot (t_k - t_o) + k_a \cdot F_a \int_{t_o}^{t_k} (t - t_m) \cdot d\tau \quad (2.36)$$

где  $c \cdot m$  – удельная теплоёмкость и масса воды;  $k_a \cdot F_a$  – удельные теплопотери и площадь поверхности АТЭ;  $t$ ,  $t_o$ ,  $t_k$  – текущая, начальная, конечная температуры нагреваемой воды;  $t_m$  – температура окружающей среды,

В связи с этим предложены новые способы электронагрева:

- регулированием мощности ТЭНа изменением напряжения от начального ( $U_o$ ) до конечного ( $U_n$ ) ( $U_o < U < U_n$ );
- изменением сопротивления ТЭНа, например переключением с последовательной на параллельную схему ( $R_{ТЭН} = var$ ).

Составлены уравнения балансов энергий способов нагрева: традиционного  $P_{мэн} = const$

$$k_a \cdot F_a (t - t_m) + cm \frac{dt}{d\tau} = P_{ТЭН} = \frac{U^2}{R} \quad (2.37)$$

регулированием напряжения ТЭНа

$$k_a \cdot F_a (t - t_m) + cm \frac{dt}{d\tau} = \frac{dQ_{ТЭН}}{d\tau}, \quad U_o < U < U_n \quad (2.38)$$

Решением (2.37) установлены формулы текущей температуры ( $t$ ):

$$(t - t_m) = \frac{U_H^2}{R \cdot k_a \cdot F_a} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{k_a \cdot F_a \cdot \tau}{cm}\right) \right] + (t_o - t_m) \cdot \exp\left(-\frac{k_a \cdot F_a \cdot \tau}{cm}\right), \quad (2.39)$$

времени нагрева от  $t_o$  до  $t_k$

$$\tau_k = -\frac{cm}{k_a \cdot F_a} \ln \frac{U_H^2 - R \cdot k_a \cdot F_a (t_k - t_m)}{U_H^2 - R \cdot k_a \cdot F_a (t_o - t_m)}, \quad (2.40)$$

энергоёмкости нагрева

$$\mathcal{E}_{ATЭ1} = cm(t - t_o) + \frac{U_H^2 \cdot \tau}{R \cdot k_a \cdot F_a} - \left[ \frac{U_H^2}{R \cdot k_a \cdot F_a} - t_o + t_m \right] \cdot \frac{\tau^2}{\tau_H} \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{\tau_H}\right). \quad (2.41)$$

Решением (2.38), установлены формулы:

напряжения при условии линейного изменения температуры

$$U^2 = U_o^2 + k_a \cdot F_a \cdot R \left( \frac{t_k - t_o}{\tau_k} \cdot \tau + t_o \right) + \frac{cm \cdot R}{\tau} (t_k - t_o), \quad (2.42)$$

начального напряжения ТЭНов, при условии, что при  $\tau_k$ ,  $U = U_H$

$$U_o^2 = U_H^2 - k_a \cdot F_a \cdot R \cdot t_k + \frac{cm \cdot R}{\tau} (t_k - t_o), \quad (2.43)$$

энергоёмкости процесса

$$\mathcal{E}_{ATЭ2} = cm(t - t_o) + k_a \cdot F_a \cdot \left[ \frac{t_k - t_o}{2\tau_k} \cdot \tau^2 + (t_o - t_m)\tau \right], \quad (2.44)$$

средней интегральной мощности ТЭНа:

$$P_{cp} = \frac{cm}{\tau_k} \cdot (t_k - t_o) + k_a \cdot F_a \cdot \left( \frac{t_k + t_m}{2} \right) \quad (2.45)$$

Выполнены экспериментальные исследования целью, которых было подтвердить сходимость теоретических (расчётных) и экспериментальных результатов.

## 2.2 Имитационная модель функционирования системы солнечного теплоснабжения

Одним из путей рационального использования энергетических ресурсов является вовлечение возобновляемых и экологически чистых источников. Среди них значительным ресурсом обладает солнечная энергия. Поэтому создание и внедрение технологий и технических средств преобразования солнечной энергии на сегодняшний день актуальная задача.

Перспективность использования солнечной энергии в объектах теплоснабжения обусловлена территориальной рассредоточенностью многих потребителей, их невысокой мощностью и наличием объектов с автономным теплообеспечением. Использование солнечной энергии для тепловых целей обеспечивает экономию топливно-энергетических ресурсов и автономное теплообеспечение удаленных потребителей.

В Казахстане гелиоэнергетика в основном использовалась для сушки каракульских шкур, электроснабжения чабанских домиков, для горячего водоснабжения животноводческих ферм и др. Одной из основных задач разработки методических основ и проектирования ГЭУ для малых крестьянских хозяйств является разработка имитационной модели ГЭУ для определения суточной, месячной и годовой выработки энергии в зависимости от ключевых параметров ГЭУ.

На основании теоретических исследований была создана имитационная модель функционирования ГЭУ (рис. 2.2), которая может быть использована для расчета текущих и суммарных значений вырабатываемой мощности с учетом технических характеристик.

В дисплеях показываются текущие значения вырабатываемой мощности с учетом влияния солнечной радиации и температуры воздуха данной местности, а также текущее значение КПД ГЭУ. Кроме того, в имитационной модели имеются блоки для экспорта данных в таблицы для дальнейшей обработки.

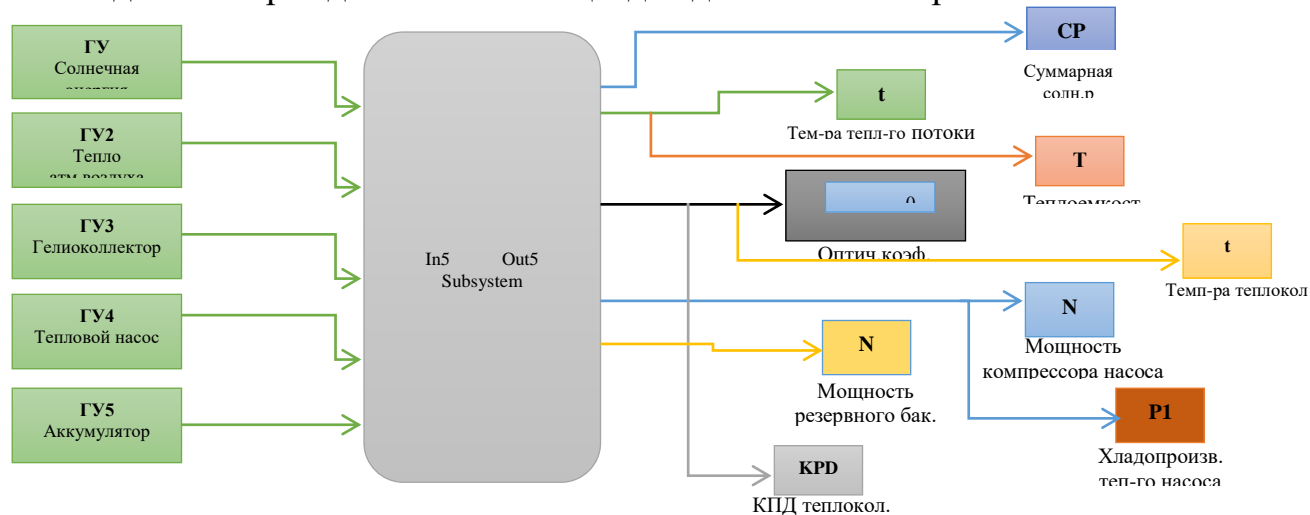


Рисунок 2.2 - Имитационная модель функционирования для определения значения вырабатываемой мощности в зависимости от параметров ГЭУ

В таблице 2.2 описаны основные обрабатываемые технические характеристики ГЭУ в блоках.

Таблица 2.2. – Обрабатываемые технические характеристики ГЭУ в блоках

ГУ Солнечная энергия	Блок, в котором записывается приход солнечной энергии
ГУ2 Тепло атм.воздуха	Блок, в котором записывается температура тепла атмосферного воздуха
ГУ3 Гелиоколлектор	Блок, в котором записывается выбор гелиоколлектора
ГУ4 Тепловой насос	Блок, в котором записывается установленное значение мощности теплового насоса
ГУ5 Аккумулятор	Блок, в котором записывается установленное значение мощности бак-аккумулятора
N	Блок, показывающий суммарное значение вырабатываемой мощности резервного бака
Дисплей, показывающий текущее и суммарные значения переменных ГЭУ, которые определяются блоками	
CP	Блок, показывающий текущее значение суммарной солнечной радиации
N	Блок, показывающий мощность компрессора теплового насоса
T	Блок, показывающий теплоемкость
t	Блок, показывающий текущее значение температуры теплового потока
0	Блок, показывающий суммарное значение оптического коэффициента теплоемкости
t	Блок, показывающий температуру гелиоколлектора
P1	Блок, показывающий хладопроизводительность теплового насоса
KPD	Блок, показывающий КПД гелиоколлектора

Реализация симуляции математической модели была выполнено на MatLab + Simulink. Для моделирования выбраны три точки из трех регионов Казахстана, значения температуры и солнечной радиации.

В таблице 2.3 показаны входные параметры для симуляции нагрева воды в коллекторе.

Таблица 2.3. – Входные параметры для симуляции нагрева воды в коллекторе

Переменные	Значения	Описание	Единица измерения
$I$	0–800	Солнечное излучение	Ватт/м <sup>2</sup>
$A$	2	Площадь плоского коллектора	м <sup>2</sup>
$T_{inc}$	15–70	Температура жидкости, поступающая в коллектор из цикла	°C
$T_{out}$	15–35	Температура окружающей среды	°C

$\eta$	0,7	Оптическая эффективность коллектора	Ватт/(м <sup>2</sup> °С)
$U_{col}$	7	Коэффициент теплопотери коллектора	м <sup>3</sup> /сек
$v_{col}$	2,9Е-5	Скорость потока жидкости от насоса	м <sup>3</sup>
$V_{col}$	0,05	Объем жидкости в коллекторе	Дж/(кг К)
$c_{col}$	3690	Удельная теплоемкость жидкости в коллекторе	кг/м <sup>3</sup>
$\rho_{col}$	1097	Плотность жидкости в коллекторе	кг/м <sup>3</sup>

Климат в Казахстане резкоконтинентальный, имеются значительные перепады температуры. Если использовать воду как жидкость в коллекторе, то в зимнее время вероятность ее замерзания в коллекторе очень высока, а в летнее время возникает высокое давление от нагрева и кипения. Поэтому рекомендуется использовать специальную жидкость – 50%-е содержание пропиленгликоль в воде.

Модель симуляции для уравнения (2.31), результатом которого является температура воды из бака. На рисунке 2.3 модель бака с теплообменником в Simulink.

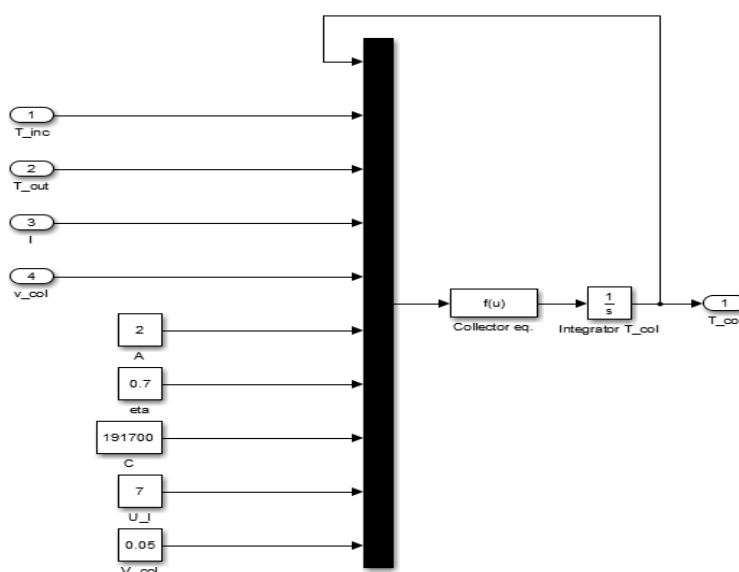


Рисунок 2.3 - Симуляционная модель плоского коллектора

В таблице 2.4 показаны входные параметры для симуляции передачи тепла в баке с теплообменником.

Таблица 2.4. – Входные параметры для симуляции передачи тепла в баке с теплообменником

Переменные	Значения	Описание	Единица измерения
$A_{exc}$	2	Площадь теплообменника	м <sup>2</sup>
$U_{exc}$	1600	Коэффициент теплопередачи в теплообменнике	Вт/(м <sup>2</sup> °С)
$v_{st}$	5,9Е-5	Скорость потока воды из бака	м <sup>3</sup> /сек
$V_{st}$	0,1	Объем жидкости в баке	м <sup>3</sup>

На рисунке 2.3 изображена симуляционная модель плоского коллектора. Для оптимальной работы установки необходимо управлять насосами в двух циклах: для нагрева жидкости в коллекторе и для нагрева воды в баке с погружным теплообменником. Насосы управляются автоматически и работают в зависимости от достигнутой температуры на выходе из коллектора и температуры на выходе из бака. На рисунке 2.4 изображена симуляционная модель управления насоса в цикле с плоским коллектором.

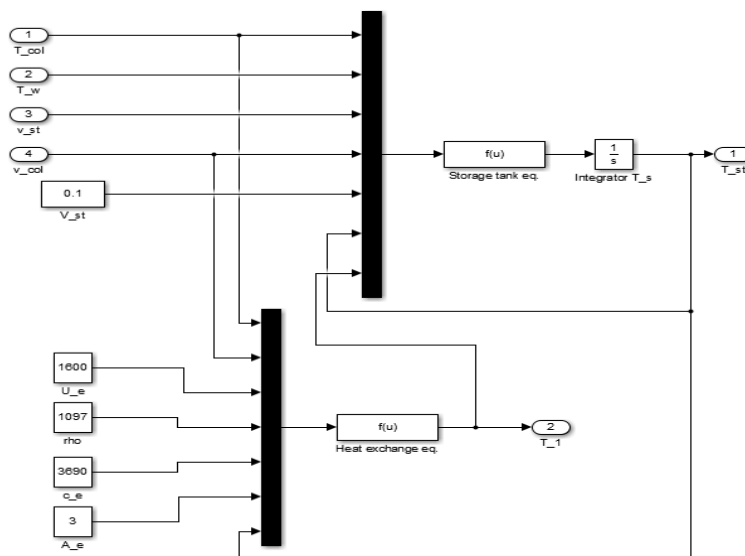


Рисунок 2.3 - Симуляционная модель плоского коллектора

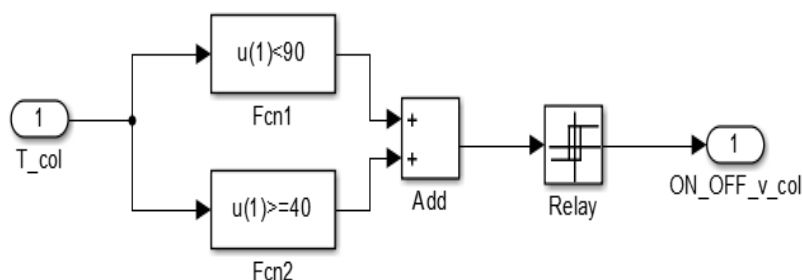


Рисунок 2.4 - Симуляционная модель управления тепловым насосом в цикле с плоским коллектором

На рисунке 2.5 изображена симуляционная модель управления тепловым насосом в цикле с баком и теплообменником. Блок-схема для общей модели гелиоколлектора с баком-теплообменником и с двумя насосами в двух циклах (рис. 2.5).



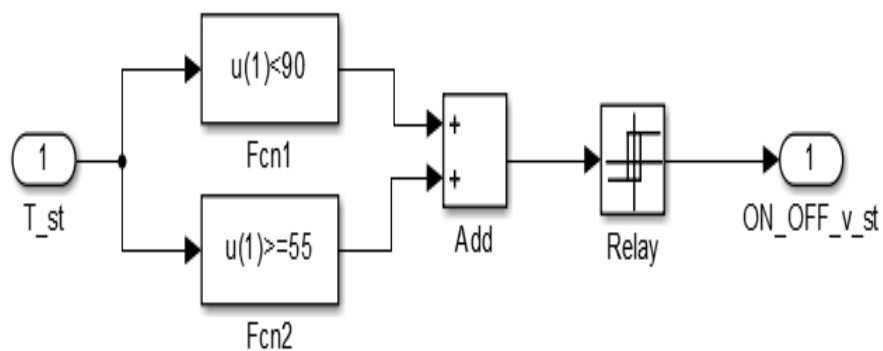


Рисунок 2.5 - Симуляционная модель управления теплового насоса в цикле с баком и теплообменником

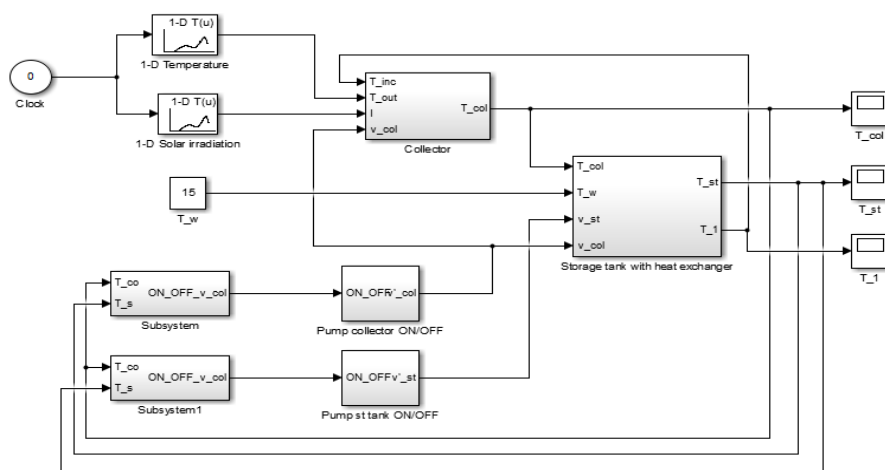


Рисунок 2.6 - Общая схема для симуляции установки

Для симуляции модели были выбраны три региона Казахстана с различными значениями температуры и солнечной радиации на 23 июля 2020 г. (рис. 2.7)

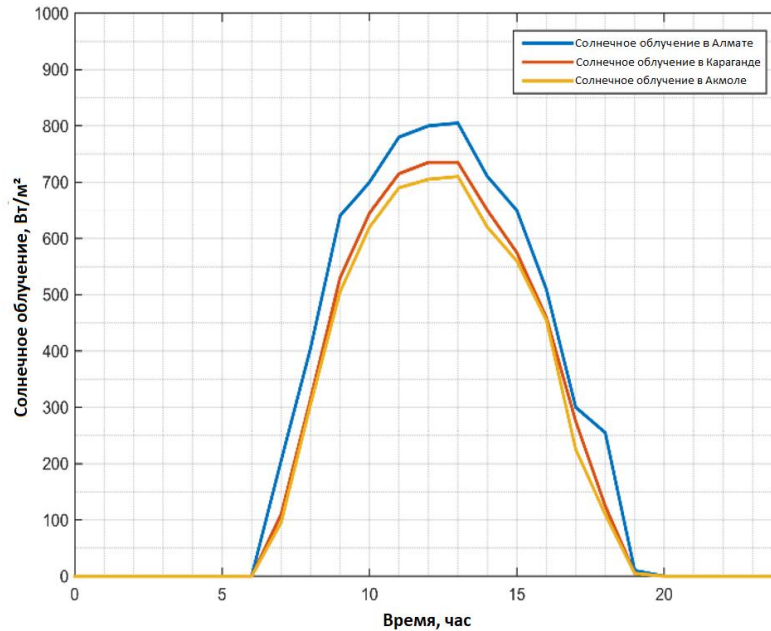


Рисунок 2.7 - Температура и почасовая солнечная радиация

В результате симуляции на выбранных данных максимальная температура из бака достигается в Алматинском регионе и равна  $56,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а максимальная температура из коллектора достигает  $60,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.8).

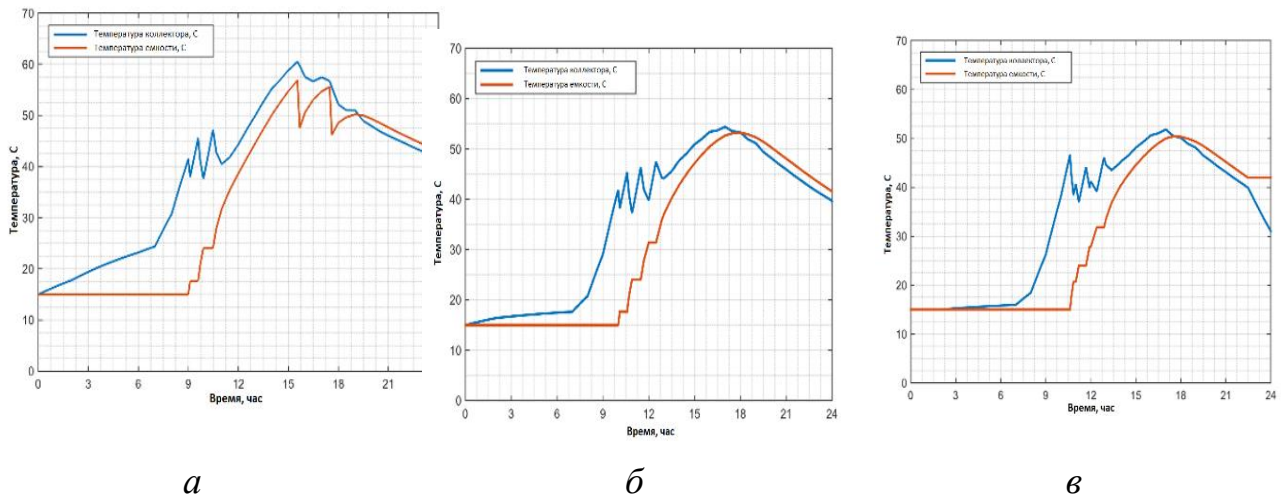


Рисунок 2.8 - Результаты симуляции для трех регионов, где, *а* – Алматинский регион, *б* – Каргандинский регион, *в* – Акмолинский регион

Сравнение температуры в коллекторе для регионов показывает, что температура начала постепенно подниматься в Алматинском регионе (по времени в 7:15), затем в Карагандинском (по времени в 8:30) и Акмолинском регионах (по времени в 8:30) – последние два не имеют значительных отличий, график на рис. 2.8 не имеет расхождений с входными погодными условиями по регионам.

Такую же динамику температуры мы видим в баке с термосифоном: в Алматинском регионе вода начала первой нагреваться и первой достигает порогового значения  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  для бака, при котором включается насос и подает

подпитку холодной воды. Это мера была внедрена во избежание экстремальных температур в баке и нагрузки на оборудование.

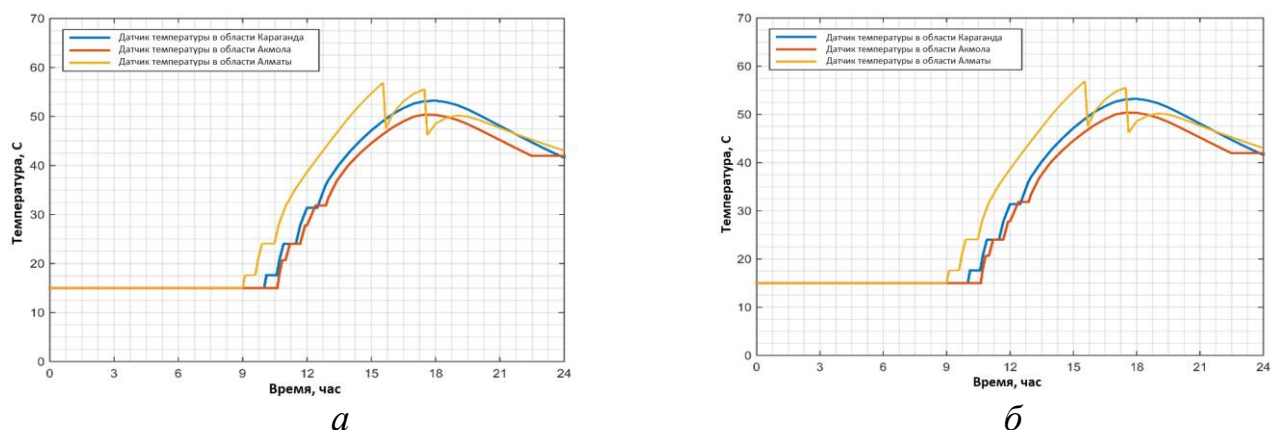


Рисунок 2.9 - Сравнение результатов температуры в регионах, где, *а* – температура жидкости в коллекторе, *б* – температура воды в баке

На рисунке 2.9 отображены температуры в коллекторе и в баке и режим работы насоса. Для рисунка 2.10. *а*, как только температура в коллекторе достигла 40°C, насос начал включаться (по времени около 8:45) и передавать нагретую воду в теплообменник в баке. В связи с этим температура в коллекторе начала падать, но в 10:25 температура стала постоянно расти в связи с погодными условиями. Температура в баке после 15:00 достигает предельных значений, в этот период включается насос в баке и производит подпитку холодной водой (температура 15°C), поэтому температура имеет скачкообразный вид.

Для рисунка 2.10. *б*, температура не достигала предельных значений в баке и насос для подпитки не включался, поэтому график равномерный, за исключением периода с 10:00 до 12:00, когда наблюдаются скачки. Это связано с теплопередачей от жидкости в гелиоколлекторе в воду в баке.

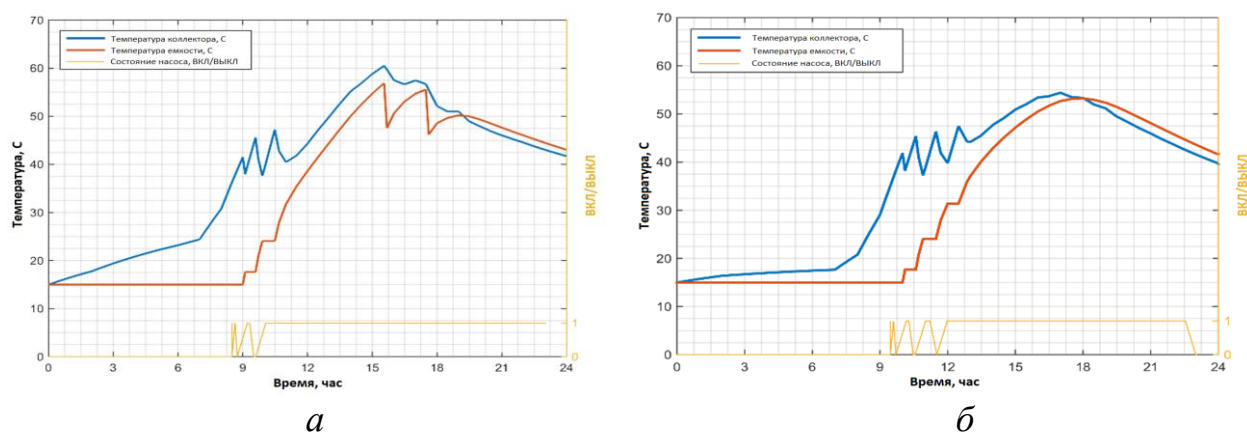


Рисунок 2.10 - Температура в коллекторе и баке с управлением теплового насоса в потоке жидкости, где, *а* – Алматинский регион, *б* – Карагандинский регион

График на рисунке 2.11 показывает одинаковые результаты с решением дифференциального уравнения с помощью численных методов – функции ode45, который основан на формуле Рунге – Кутта.

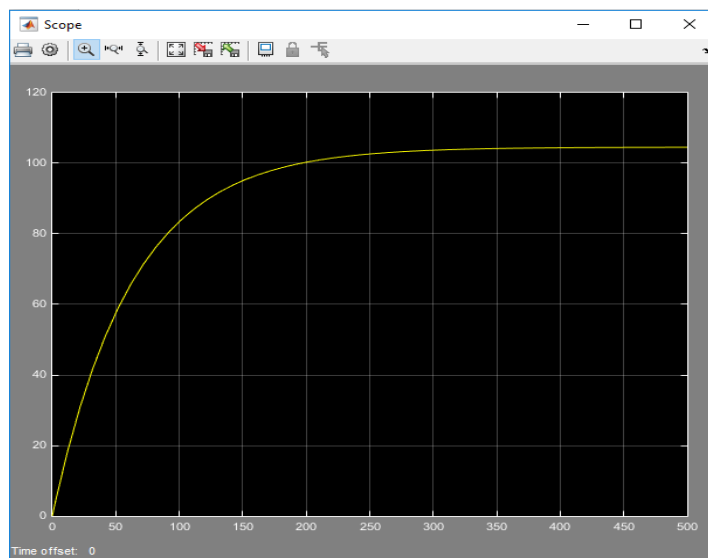


Рисунок 2.11 - Зависимость температуры окружающей среды на выходе

Отобраны данные за год и по Алматинской области. Входные данные: солнечное излучение и температура окружающей среды.

Результат моделирования показан на рисунке 2.12. На основании рисунка можно отметить, что для региона система солнечного нагрева горячей воды не будет обеспечивать приемлемую температуру в плоском коллекторе и резервуаре-хранилище в период с декабря по март. Лучший результат (высокая температура) системы будет достигнут с июня до середины октября.

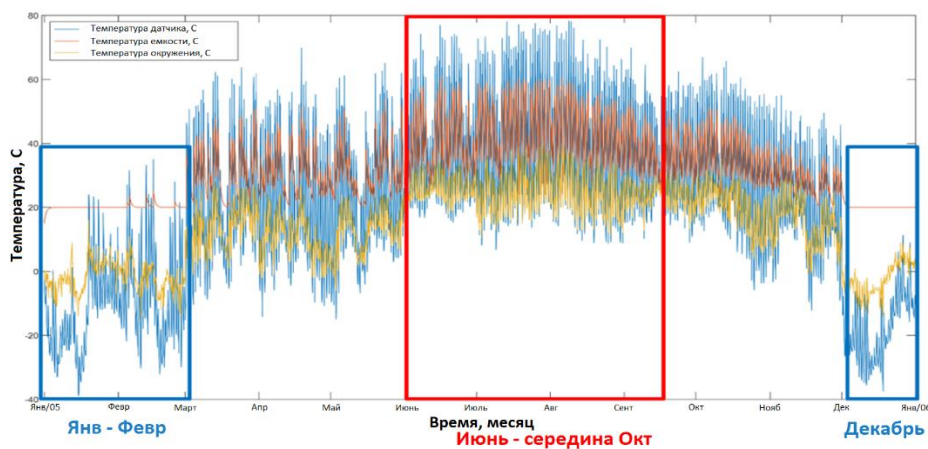


Рисунок 2.12 - Результат моделирования за 2021 год

Предложенный метод показывает свою эффективность в первое время работы установки, когда знания о работе установки не полные или отсутствуют. Например, новые технические изменения установки или другая климатическая

зона, но установка должна выполнять свою работу без аварийных ситуаций. Данный алгоритм поможет в мониторинге технического устройства и предсказании предаварийной ситуации.

Идея построения тренда поведения установки позволит не только предсказывать аномальные отклонения от нормативных значений, но также учитывать, какие значения температуры или давления могут быть в установке.

В имитационной модели функционирования системы солнечного теплоснабжения реализована возможность в интерактивном режиме наблюдать графики изменения суточной, месячной и годовой солнечной радиации, значения мощности резервного бака, холодопроизводительность теплового насоса и текущее значение КПД гелиоколлектора.

Приведенная имитационная модель функционирования системы солнечного теплоснабжения отвечает двум основным требованиям имитационных моделей:

- отражает логику функционирования исследуемой системы во времени;
- обеспечивает возможность проведения экспериментов [59, 76].

### **2.3 Выводы по главе 2**

Во второй главе разработана теоретическая основа и метод математического моделирования организационно-технологической системы «гелиоколлектор + тепловой насос». Усовершенствованная математическая модель функционирования гелиоустановки с тепловым насосом учитывает переменный характер коэффициента преобразования насоса и теплопроизводительности установки в процессе работы. Уточняется связь коэффициента преобразования с изменением температур теплоносителей в гелиоколлекторе и в баке-аккумуляторе.

Анализ эксергии для солнечных гелиоколлекторов помогает достичь их оптимальной конструкции и дает направление для уменьшения потерь эксергии. В программе вычисления MATLAB представлены расчеты термических, геометрических и эксергетических моделей. На основании теоретических исследований была создана имитационная модель гелиосистемы, которая может быть использована для расчета текущих и суммарных значений вырабатываемой мощности с учетом технических характеристик. В этой модели реализована возможность в интерактивном режиме наблюдать графики изменения суточной, месячной и годовой солнечной радиации, значения мощности резервного бака, холодопроизводительности теплового насоса и текущее значение КПД гелиоколлектора. В результате симуляции на выбранных данных максимальная температура из бака достигается в Алматинском регионе и равна 56,9 °С, а максимальная температура из коллектора – 60,5 °С.

## ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ. ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ «ГЕЛИОКОЛЛЕКТОР + ТЕПЛОВОЙ НАСОС»

### 3.1 Программа исследований

Программой исследований предусматривались:

- исследование плоского солнечного коллектора с термосифоном совместно с тепловым насосом на лабораторном стенде;
- исследование процесса нагрева воды в автоматизированной двухконтурной гелиоустановке с термосифонной циркуляцией;
- разработка опытного образца двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией.

#### 3.1.1 Методика по определению произведения общего коэффициента тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели

Испытуемый плоский солнечный коллектор крепится на специальной подставке под углом  $45^\circ$  к горизонту.

Условия проведения испытаний:

- на вход коллектора подают воду температурой 40, 50, 60 и 70 °С.

Изменение температуры воды осуществляют от испытания к испытанию;

- испытания следует проводить в стационарном режиме. Условия испытаний считают стационарными, если температура воды на входе и на выходе из коллектора и температура окружающего воздуха в течение 10 мин не изменялась более чем на 0,1 °С.

В испытаниях регистрируют (через 20 мин после выхода на стационарный режим):

- температуру воды на выходе и входе коллектора;
- температуру окружающего воздуха;
- расход воды через коллектор.

Для измерения температур был использован пирометр инфракрасный С 300-3 «Фотон» с измерителем регистратора ИС-203,3 (4), в качестве датчика температур НСХ применили термопреобразователи с диапазоном измерения температур от 50 до 180 °С.

По итогам испытаний определяется произведение общего коэффициента тепловых потерь коллектора и коэффициента эффективности поглощающей панели по формуле

$$F'xU_L = \frac{Gxc_p x(t_{ax} - t_{вых})}{Ax(\bar{t}_{жс} - t_{\theta})}, \quad (3.1)$$

где  $U_L$  – общий коэффициент тепловых потерь, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$F'$  – коэффициент эффективности поглощающей панели;  
 $G$  – расход воды через коллектор, кг/ч;  
 $A$  – площадь тепловоспринимающей поверхности, м<sup>2</sup>;  
 $c_p$  – теплоемкость воды, Вт ч/(кг·°С);  
 $t_{вх}$  – температура воды на входе в коллектор, °С;  
 $t_{вых}$  – температура воды на выходе из коллектора, °С;  
 $t_{в}$  – температура воздуха, окружающего испытываемый коллектор, °С;  
 $\bar{t}_{ж}$  – средняя температура жидкости, равная полусумме температуры воды на входе и выходе из коллектора.

### 3.1.2 Определение оптического произведения КПД коллектора ( $\tau\alpha$ ) и коэффициента эффективности поглощающей панели $F'$

Экспериментальные испытания следует проводить при ясном, безоблачном небе и плотности потока суммарной солнечной радиации не менее 600 Вт/м<sup>2</sup>. Температура наружного воздуха должна быть не ниже 15 °С.



Рисунок 3.1 - Проверка датчиков температур с помощью пирометра инфракрасного С 300-3 «Фотон»

На рисунке 3.1 изображена проверка датчиков температур с помощью пирометра инфракрасного С 300-3 «Фотон».

Скорость ветра во время испытаний коллектора не должна превышать 5 м/С. Измерения скорости ветра следует проводить в непосредственной близости от коллектора на высоте, соответствующей половине высоты коллектора.

Испытания проводят при расходе воды через коллектор 25 кг/(м<sup>2</sup> ч) и температуре воды на входе в коллектор 20, 30, 40 и 50 °С. Изменение температуры воды осуществляют от испытания к испытанию. Таким образом, следует проводить не менее четырех испытаний.

Продолжительность испытаний должна составлять не менее двух часов. В процессе испытаний используются следующие дополнительные приборы:

- пиранометр М-80 в паре со вторичным прибором;
- чашечный анемометр.

В испытаниях одновременно регистрируют:

- плотность потока суммарной солнечной радиации в плоскости коллектора;
- температура окружающего воздуха;
- температура воды на входе в коллектор;
- температура воды на выходе из коллектора;
- расход воды через коллектор.

По результатам испытаний определяют теплопроизводительность коллектора ( $Q_k$ ) по формуле:

$$Q_k = \frac{G \cdot c_p}{A} (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) \cdot \tau_0 \quad (3.2)$$

и комплекс  $\frac{1}{E} \left( \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} - t_e \right)$ , где  $E$  – плотность потока суммарной солнечной радиации в плоскости коллектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau_0$  – время проведения испытания, ч.

По результатам расчетов строят зависимость  $Q_k / (E \tau_0)$  от  $\frac{1}{E} \left( \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} - t_e \right)$ , пересечение построенной зависимости с осью ординат дает искомое значение  $F'x(\tau \alpha)$  коллектора. Погрешность определения  $F'x(\tau \alpha)$  не должна превышать  $\pm 10\%$ .

Гелиоколлектор – основной теплогенерирующий узел гелиоустановки, от энергетических, эксплуатационных показателей которого прямо зависят соответствующие параметры гелиоустановки.

Основными параметрами гелиоколлекторов (ГК), а, следовательно, и гелиоустановки (ГУ), являются себестоимость произведенной тепловой энергии.

Основной целью является разработка и освоение выпуска гелиоустановок, экономически выгодных в условиях Казахстана, за счет применения принципиально новых гелиоколлекторов. Для достижения поставленной цели предлагается реализовать особый подход к конструированию гелиоколлекторов с использованием современных материалов, за счет чего добиться существенного снижения (в 2–3 раза) стоимости гелиоустановки. На рисунке 3.2 изображена натурная модель плоского солнечного гелиоколлектора





Рисунок 3.2 - Натурная модель плоского солнечного гелиоколлектора

Таблица 3.1. – Технические показатели плоского солнечного коллектора

<i>Параметры</i>	<i>Значение</i>
Материал поглощающей пластины	медь
Размеры пластины поглотителя	2 м×1 м
Толщина плиты	0,4 мм
Материал для остекления	Закаленное стекло
Размеры остекления	2 м×1 м
Толщина остекления	4 мм
Изоляция	Пеноплекс (пенополиуретан)
Угол наклона коллектора	45 <sup>0</sup>
Теплопроводность поглотителя	401 Вт/(м К)
Теплопроводность изоляции	0,04 Вт/(м К)
Коэффициент пропускания-поглощения	0,855
Видимая температура солнца	4350 К
Температура окружающей среды	303 К
Интенсивность излучения	1000 Вт/м <sup>2</sup>

На рисунке 3.3 изображена натурная модель теплового насоса.

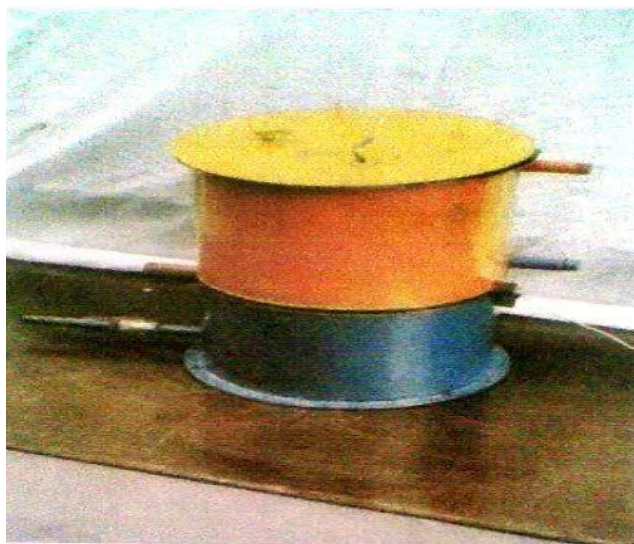


Рисунок 3.3 - Натурная модель теплового насоса

С учетом требований повышения показателей устройства разработана принципиальная схема двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом (рис. 3.4). Плоские солнечные коллекторы с термосифонной циркуляцией используются для преобразования падающего солнечного излучения в тепловую энергию. Эта энергия накапливается в виде ощутимого тепла в резервуаре для хранения жидкости и используется по мере необходимости для питания помещений и нагрева воды.

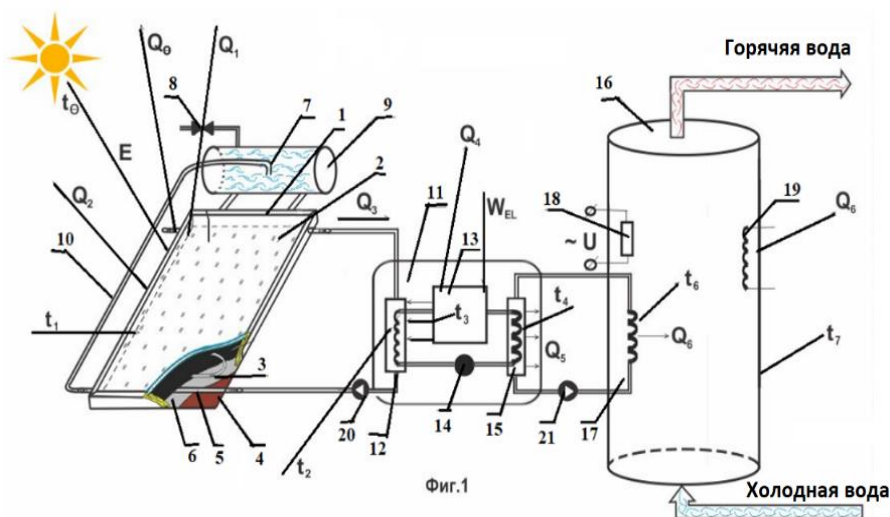


Рисунок 3.4 - Расчетная схема двухконтурной гелиоустановки

На рисунке 3.4 представлена расчетная схема двухконтурной гелиоустановки. Солнечная энергия  $E$  с температурой  $t_0$  поглощается гелиоколлектором 1 с температурой  $t_1$ , нагревая поток солнечной энергии, и проходит через светопрозрачный изоляционный стеклопакет 2. Тепло, полученное от солнечного потока, нагревает жидкость в змеевиках 3, которая удаляется из коллектора, а на ее место поступает холодная вода из трубопровода с

вентилем для холодной воды 8, а из сифона бака-дозатора 7 происходит постоянная термосифонная циркуляция с помощью циркуляционной трубы 10. Далее жидкость попадает в тепловой насос 11, который состоит из испарителя 12, конденсатора с температурой  $t_2$ , в котором теплообменник выполнен в виде спирали. Он поглощает тепло теплоносителя, опускает его температуру ниже температуры атмосферного воздуха ( $Q_2$ ) с помощью дросселирующего клапана 14, тем самым способствуя дополнительному поглощению тепла из атмосферного воздуха.

В схеме также показано солнечное излучение, отраженное от полупрозрачного покрытия ( $Q_0$ ) и поверхности поглощающей панели ( $Q_1$ ). В тепловом насосе осуществляется передача энергии теплоносителя с относительно низкой температурой к теплоносителю теплообменника конденсатора 15 в виде спирали с более высокой температурой  $t_2$ , которая увеличивает площадь и интенсивность теплообмена. Для осуществления такого цикла используется компрессор 13 с температурой  $t_3$ , с электроприводом 17. Далее посредством теплообменника конденсатора 15 с температурой  $t_4$  тепло от теплового насоса ( $Q_5$ ) передается в бак-аккумулятор теплообменника  $Q_6$  с температурой  $t_6$  системы отопления 18. Так как установка имеет два контура, она снабжена автоматическими циркуляционными насосами 19 и 20 для циркуляции жидкости между гелиоколлектором и испарителем, конденсатором и баком-аккумулятора. Температура воды доводится до требуемого технологического уровня и подается для водоснабжения и отопления.

### 3.2 Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные испытания проводились в крестьянском хозяйстве KazMicroD в городе Алматы для чабанского дома. Крестьянское хозяйство имеет в собственности жилые дома, хозяйственные постройки, скот, оборудование и иное имущество для самостоятельного ведения хозяйства. Площадь дома составляет 60 м<sup>2</sup>. Количество комнат – 3. В доме живут 4 человека. На рисунке 3.5 показано крестьянское хозяйство KazMicroD в городе Алматы.



Рисунок 3.5- Крестьянское хозяйство KazMicroD в городе Алматы

Эксперименты велись без перерыва с 7:30 до 19:30 в статическом режиме (без притока и оттока воды из бака) с поглощением падающего солнечного излучения. Предлагаемая методика измерения происходила в фермерском хозяйстве.

После 19:30 во время режима слива (или динамического режима) вода выходит через выпускное отверстие с постоянной скоростью потока. В течение каждые 15 мин система сбора данных регистрирует распределение температуры в режиме зарядки и каждые 15 с в режиме работы с разрядом. В динамическом режиме (слив) холодная вода из верхнего резервуара поступает в плоский солнечный коллектор с термосифоном. Пропорциональное количество горячей воды, собираемой на выходе, служит бытовым потребностям. Режим слива продолжается до тех пор, пока температура горячей воды не упадет до 30 °С. Для простоты в качестве исходной установлена температура 30 °С, которая близка к пиковой температуре окружающей среды в текущем месте во время зарядки.

Угол наклона плоского солнечного коллектора был выбран равным  $\beta = 45^\circ$ , так как город Алма-Ата расположен в центре Евразийского континента, на юго-востоке Республики Казахстан, на  $43^\circ$  северной широты, следовательно, оптимальное расположение угла наклона коллектора будет около  $45^\circ$ . Но если мы используем коллекторы круглый год, то угол наклона коллектора к горизонту рекомендуется выбрать на  $15^\circ$  меньше широты. В нашем случае это примерно  $45^\circ$ . Также можно сказать, что если реальная ориентация солнечного коллектора на объекте отличается менее чем на  $15^\circ$  по горизонту от нулевой ориентации на астрономический юг, то потери не столь велики, но если технически невозможно реализовать данные требования, то эффективность гелиосистем падает и инвестиции в них никогда не окупятся.

Угловая эффективная зона работы плоских и вакуумных трубчатых коллекторов составляет около  $45^\circ$  в каждую сторону от перпендикуляра к поверхности, т. е. в сумме около  $90^\circ$ , а общее солнечное излучение на наклонной поверхности было установлено как  $G_g = 750 \text{ Вт/м}^2$ . Скорость наружного ветра была установлена равной  $w = 2,5 \text{ м/с}$ , а температура окружающей среды  $20 \text{ }^\circ\text{С}$ .

Для проведения экспериментальных исследований был изготовлен лабораторный вариант двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией (рис. 3.6).

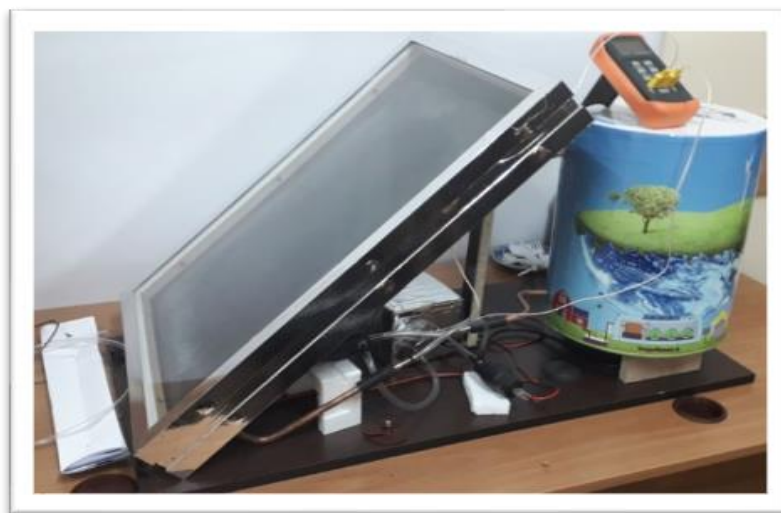


Рисунок 3.6 - Лабораторный вариант двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией

На рисунке 3.7 приведена промышленный образец и общий вид двухконтурной гелиоустановки.



Рисунок 3.7 - Промышленный образец и общий вид двухконтурной гелиоустановки

Использованные приборы: самопишущий потенциометр КСП-4 для записи температур нагрева теплоносителей и окружающей среды; пиранометр М80 с гальванометром ГСА для измерения интенсивности солнечного излучения ( $E$ ); лазерный термометр «Center-350».

Исследование влияния нового конструктивного решения ТН было проведено на основе сравнения с базовым вариантом, в котором утилизация тепла компрессора не была предусмотрена. Задача решалась с использованием метода квазинатурного моделирования для исключения возможных внешних помех. Для этого вместо ГК был установлен электроводонагреватель с регулируемой мощностью, который выполнял функции ГК.

Исследования были проведены при мощностях «гелиоколлектора» 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 Вт. В таблице 3.2. представлены результаты испытаний гелиоустановки с плоским коллектором.

Таблица 3.2. – Результаты испытаний гелиоустановки с плоским коллектором

Дата	Время нагрева		Расход воды G	Интенсивность солнечной радиации E	Температура воздуха t <sub>0</sub>	Температура на входе в коллектор t <sub>1</sub>	Температура на выходе t <sub>2</sub>	Температура в баке начальная t <sub>3</sub>	Температур в баке конечная t <sub>4</sub>	Теплопроизводи тельность устаонвки Q	Эффективность установки η	Удельная теплопроизводи тельность Q <sub>уд.</sub>	Теплопроизводи тельность
	начальное	конечное											
	τ <sub>н</sub>	τ <sub>к</sub>											
	Час, мин												
22.07.19	11:30	16:30	121,5	827	27,3	23,6	34,1	16	36	7400	0,59	493	525 150
23.07.19	11:50	17:50	157,5	888	27,5	25	31,7	18	38	7400	0,46	411	300
24.07.19	10:05	16:05	120,9	822	26,4	25	33,3	18	37	7030	0,47	390	
27.07.19	11:05	17:45	135	833	25,8	25,4	34,1	17	41	8880	0,54	455	150
28.07.19	11:30	16:30	130,7	883	25,6	27,4	37,1	19	39	7400	0,55	493	150
30.07.19	9:55	16:55	109	880	26,6	31,9	41,5	18	50	8537	0,46	406	
22.08.19	9:25	16:25	47,9	868	24,3	26,7	39	17	47	5324	0,29	253	
23.07.19	9:10	17:10	91,3	809	24,4	33,9	41,8	16,5	54	7090	0,36	295	170
26.08.19	9:30	14:30	110,7	665	25,6	21,4	28,1	16	29	4343	0,43	289	
27.08.19	10:15	17:15	110,3	920	25,9	35,4	42,2	27	48	6090	0,325	290	
14.09.19	9:30	16:30	73,1	916	26,4	30,7	40,5	20	49	5820	0,49	277	
16.09.19	14:45	17:10	97,9	824	27,4	48,1	53	44,5	53	6221	0,314	254	
17.09.19	9:45	16:45	76,4	517	26	30,1	43,8	22	45	8510	0,48	405	145

На рисунке 3.8 показана зависимость эффективности гелиоустановки от средней температуры на входе и выходе из коллектора и эффективность гелиоустановки возрастает с повышением температуры. Это говорит о том, что суммарная солнечная радиация в дневное (летнее) время повышается, а в вечернее время понижается из-за низких температур воздуха.

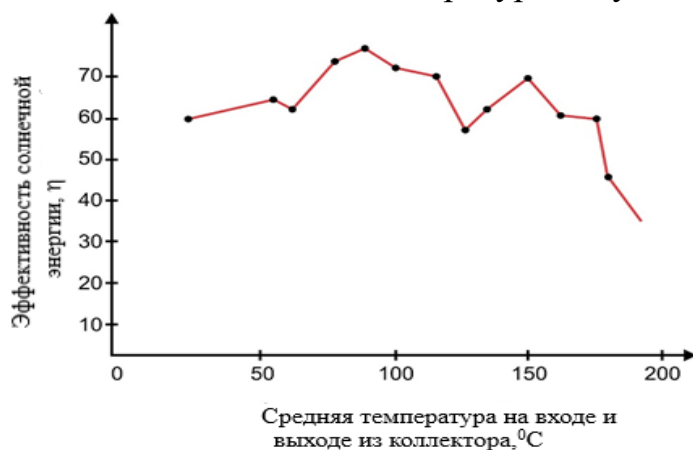


Рисунок 3.8 - Зависимость эффективности гелиоустановки от средней температуры на входе и выходе из коллектора.

Как видно из рисунках 3.9, 3.10 удельная теплопроизводительность плоского солнечного коллектора начинается с температуры 60 °С днем, возрастает до 75 °С и убывает в вечернее время, когда солнечная радиация имеет наименьшее значение. Также видно, что точки, полученные при расходе воды  $G = 3-5$  кг/с, расположены значительно ниже прямой. Аналогичная картина наблюдалась в экспериментах сентябре-октябре 2019 г. Это объясняется тем, что при расчете параметров изменение температуры воды на выходе из коллектора от среднего значения интенсивности солнечной радиации соответствуют расходам воды  $G = 3-5$  кг/с, которые практически лежат на одной прямой.

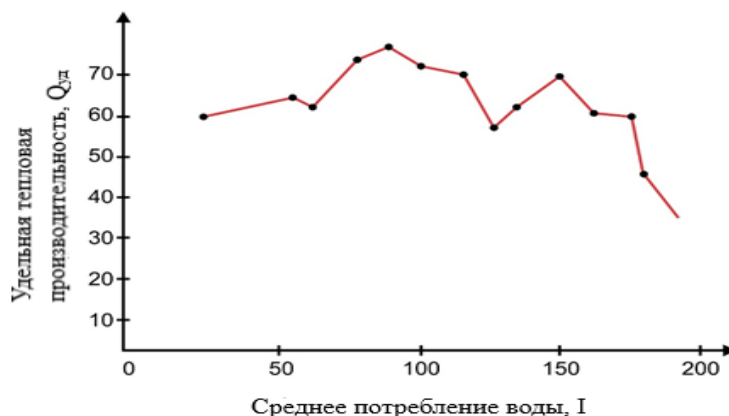


Рисунок 3.9 - Зависимости удельной теплопроизводительности от расхода воды

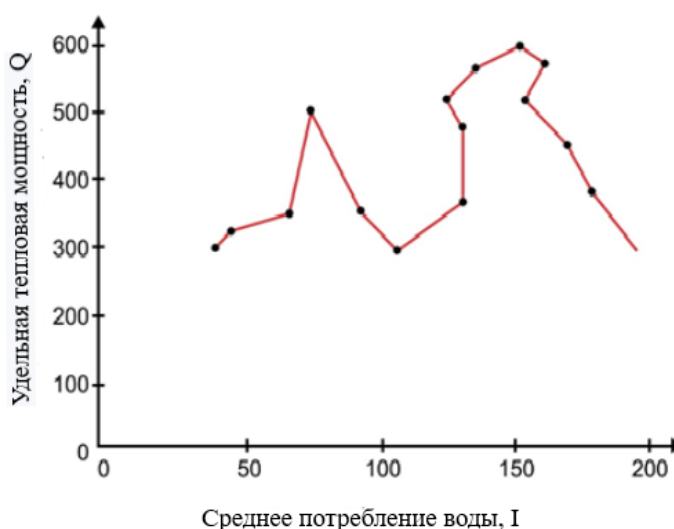


Рисунок 3.10 - Зависимость температуры нагрева воды в баке от расхода воды в контуре циркуляции гелиоустановки

В качестве примера на рисунке 3.11 представлены результаты испытаний установки. За время опыта (с 9.00 до 17.00) потребителю было отпущено 0,5 м<sup>3</sup> воды, с температурой около 50°С. Было выявлено распределение температуры воды по высоте бака-аккумулятора. Эти данные хорошо иллюстрируют степень стратификации воды в баке. Разность температур в верхних и нижних слоях составляла в полдень 10–15°С.

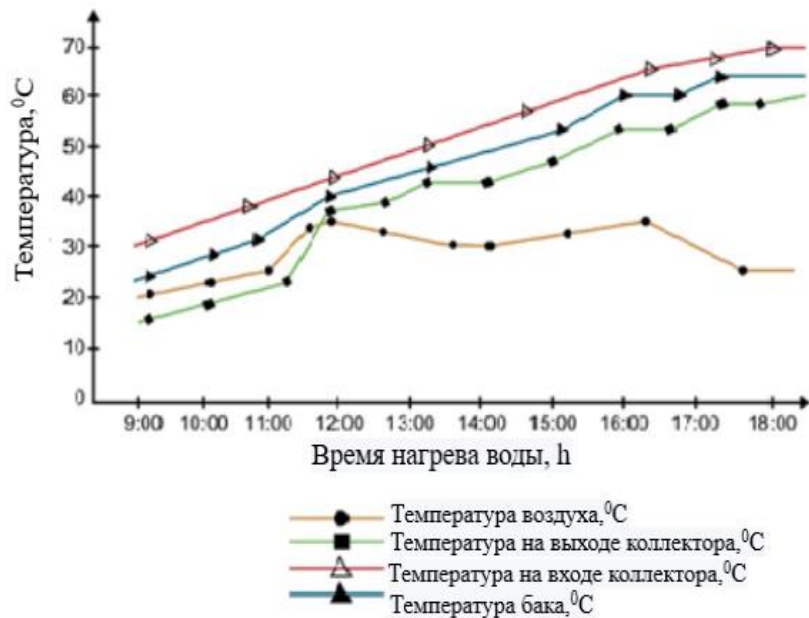


Рисунок 3.11 - Динамика нагрева воды в коллекторе с объемом воды 250 л

На рисунке 3.12 представлены результаты изменения температуры воды при различных объемах воды. Наиболее оптимальным является объем бака 70–100 л на один квадратный метр. С увеличением объема температура воды в баке уменьшается. Так, для 250 л характерна температура 55–57 °С, для 300 л – 50–53 °С, для 400 л – 46–48 °С, для 500 л – 45–47 °С.

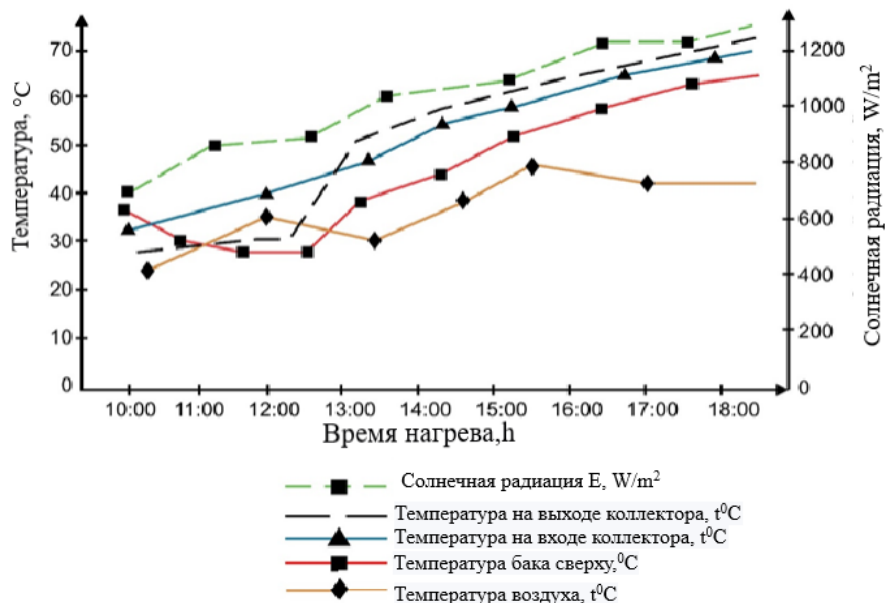


Рисунок 3.13 - Динамика нагрева воды с объемом воды 250 л

На рисунке 3.14 представлена потеря давления в линейной части элемента спирали плоского солнечного коллектора. Известно, что падение давления



является важным фактором эффективности термосифонных систем. Соответственно, в данной работе плоский солнечный коллектор изучается для прогнозирования падения давления над ним. Коллекторы равных размеров были использованы в качестве контрольного примера, где модель была проверена в пределах 3–8 % с точки зрения нормализованного среднеквадратичного отклонения. В случае плоских солнечных коллекторов, которые будут использоваться в термосифонных системах водоснабжения, эта модель может применяться для исследования компромиссов между выбором изготовления и характеристиками термосифона.

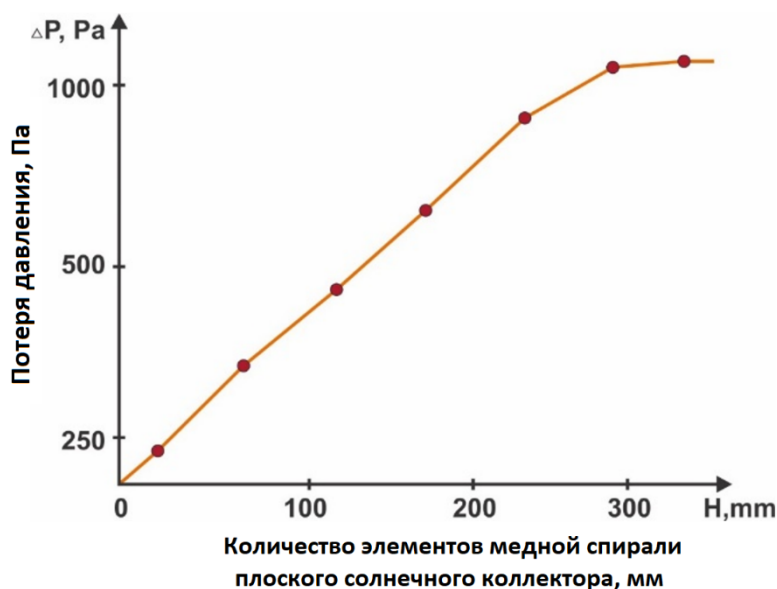


Рисунок 3.14 - Потеря давления в линейной части элемента спирали плоского солнечного коллектора

На рисунке 3.14 представлено общее количество элементов медной спирали плоского солнечного коллектора. Из рисунка 3.13 следует, что чем больше количество элементов спирали плоского солнечного коллектора, тем выше расстояние от краев коллектора до линейной части верхнего и нижнего ее элементов.

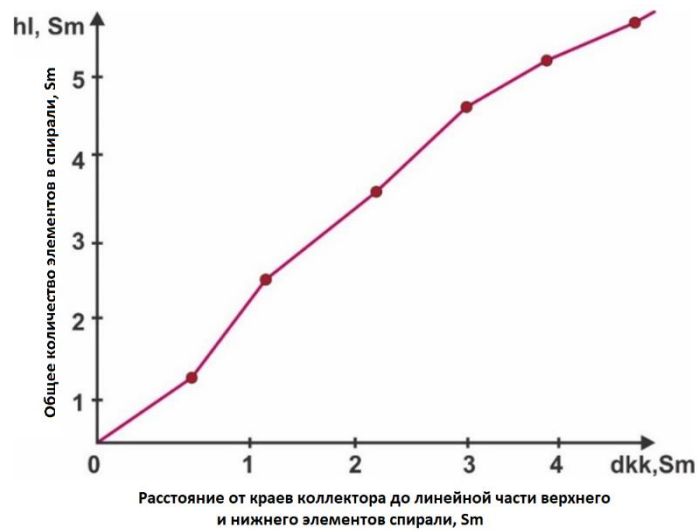


Рисунок 3.15 - Общее количество элементов медной спирали плоского солнечного коллектора

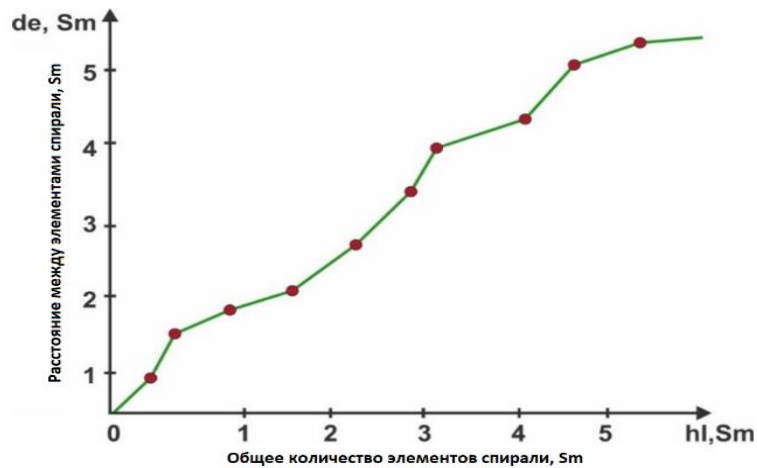


Рисунок 3.16 - Расстояние между элементами спирали элемента медной трубы плоского солнечного коллектора

На рисунке 3.16 представлена длина дуги нелинейной части элемента медной спирали плоского солнечного коллектора. Из рисунка следует, что чем больше радиус и диаметр медной спирали, тем больше жидкости будет течь при нормальном давлении. Также можно заключить, что чем больше шаг дуги медной спирали, тем меньше объем жидкости, протекающей по трубе. Это говорит о том, что параметры, которые рассчитываются с помощью экспериментальных данных, подчиняются законам физики, в частности механике жидкости и газов.

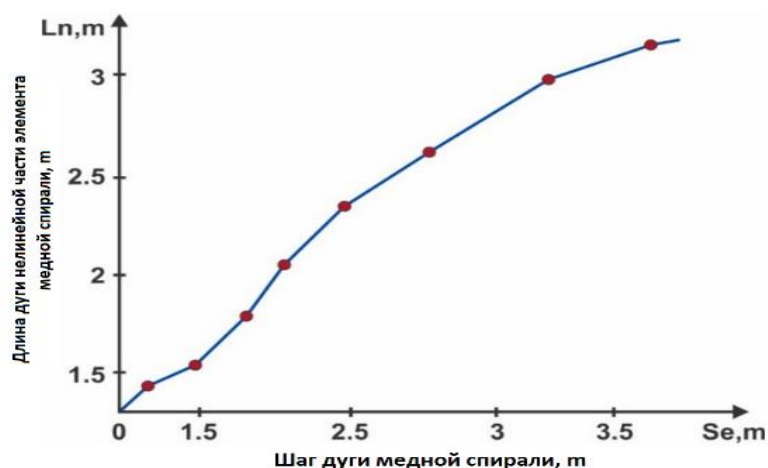


Рисунок 3.17 - Длина дуги нелинейной части элемента медной спирали плоского солнечного коллектора

На рисунке 3.17 представлена длина дуги линейной части элемента медной спирали плоского солнечного коллектора. Из рисунка следует, что тепловая эффективность уменьшается почти линейно с увеличением расстояния между трубами. Это подчеркивает трудность передачи тепла в трубу с относительно больших расстояний и свидетельствует о том, что более высокая плотность трубок на единицу площади (или длины) абсорбирующей пластины повысит ее тепловую эффективность. На рисунке также видно, что изогнутый профиль неизменно демонстрирует более высокую эффективность (22–25%), чем прямоугольный профиль и продемонстрировано, как поток воды, представленный увеличенным коэффициентом конвекции воды ( $h$ ), увеличивает термический КПД коллектора. Изогнутый профиль на 24–27% эффективнее прямоугольного профиля. Это говорит о том, что увеличение массового расхода воды, циркулирующей через трубки коллектора, будет способствовать большему теплообмену, что положительно повлияет на эффективность системы.

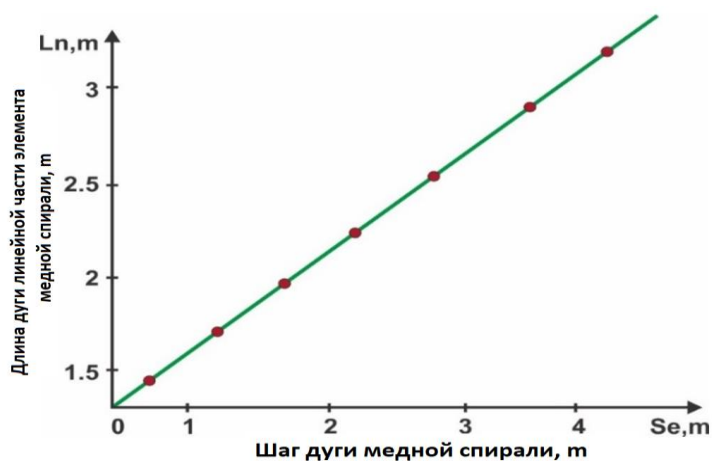


Рисунок 3.18 - Длина дуги линейной части элемента медной спирали плоского солнечного коллектора

На рисунке 3.18 представлена зависимость количество тепла  $q_k$ (Дж), поступающего из коллектора в бак-аккумулятор, от температуры нагрева воды. Результаты показывают, что суточный эффективный прирост тепла составил около 1050 МДж под разным окружающим воздухом. В температурных условиях максимальное значение среднесуточной эффективности системы составило 52% с небольшой разницей между температурой коллектора и температурой окружающей среды. В то время как среднесуточная эффективность системы почти 50% в другие дни.

Начальная температура в резервуаре оказывает значительное влияние на ежедневную эффективность система. Увеличение разницы температур между температурой воды и температурой коллекторов будет обеспечивать прирост тепла от коллекторов. По сравнению с другими днями ежедневная эффективность системы может достигать 60 % при начальной температуре 7°C.

В результате исследования были исследованы экспериментальные данные хладагента R134a производительности теплового насоса. Получены показатели работы компрессора, коэффициента производительности, охлаждающей способности и конденсатора теплового насоса, также изучено влияние массового расхода воздуха в оболочке испарителя на системе теплового насоса. Численные результаты моделирования представлены в графической форме.

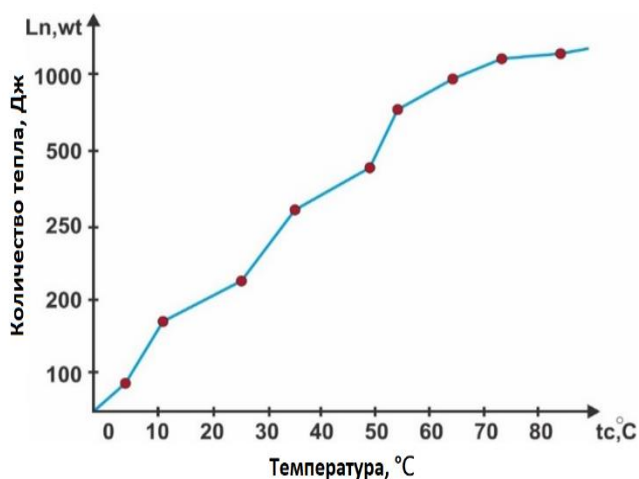


Рисунок 3.19 - Количество тепла  $q_k$ (Дж), поступающего из коллектора в бак-аккумулятор

Из рисунка 3.19 следует, что при той же температуре воды на входе увеличивается теплоемкость конденсатора за счет массового расхода воды.

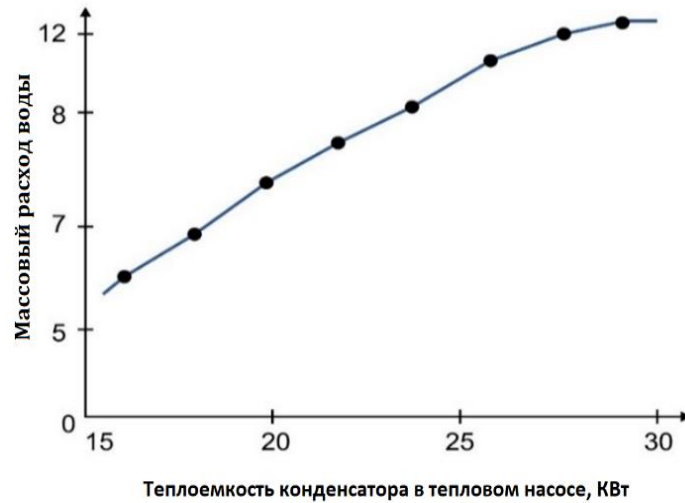


Рисунок 3.20 - Зависимость массового расхода воды от теплоемкости конденсатора в тепловом насосе

На рисунке 3.20 показана зависимость теплоемкости конденсатора теплового насоса от коэффициента производительности. При исследовании теплового насоса у конденсатора увеличиваются теплоемкость и КПД.

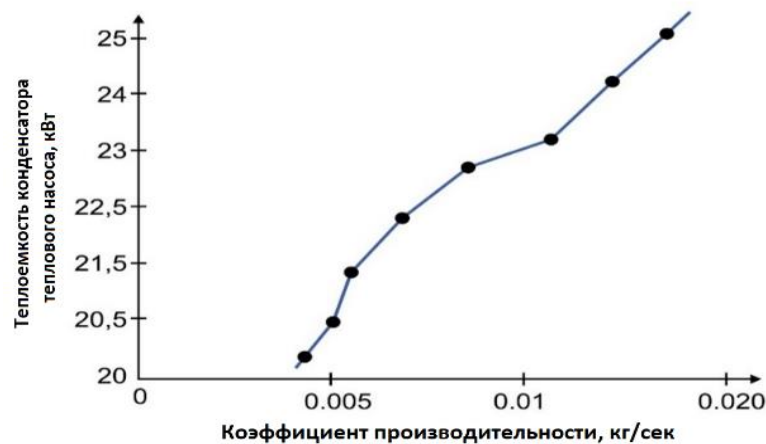


Рисунок 3.21 - Зависимость теплоемкости конденсатора теплового насоса от коэффициента производительности

На рисунках 3.22, 3.23 показаны эффективность изменения теплоемкости конденсатора по температуре системы. Исследованные данные не зависят от температуры хладагента в теплообменнике. Градиент температуры выхода из конденсатора увеличивается с увеличением теплоемкости конденсатора, но есть небольшое изменение температуры воздуха на выходе от испарителя с вариацией для теплоемкости конденсатора.

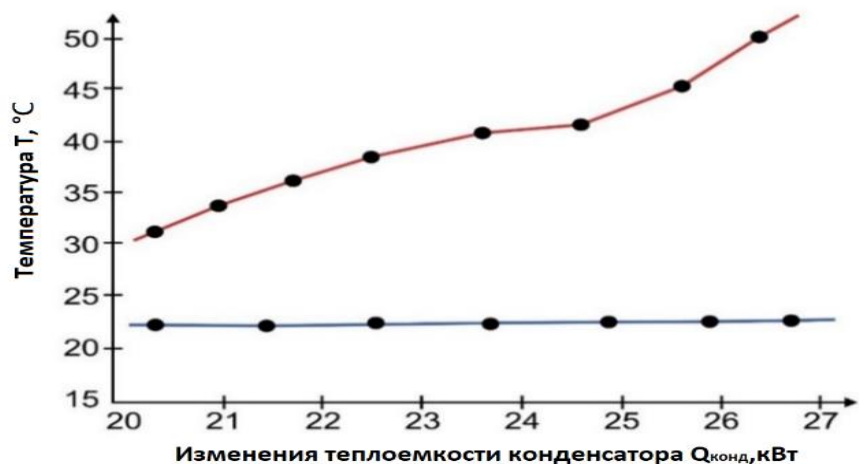


Рисунок 3.21 - Зависимость изменения теплоемкости конденсатора по температуре системы

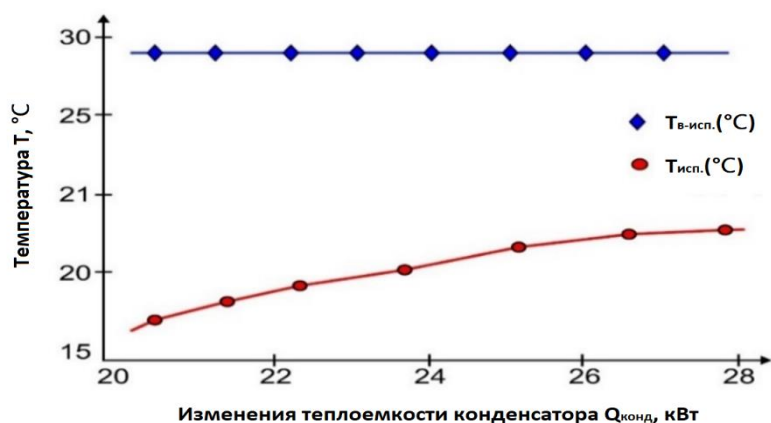


Рисунок 3.22 - Зависимость изменения теплоемкости конденсатора по температуре системы

На рисунке 3.23 показана зависимость давления в конденсаторе и испарителе от теплоемкости в тепловом насосе. Как видно на графике, давление в конденсаторе теплового насоса уменьшается, тогда как давление испарителя увеличивается с ростом теплоемкости конденсатора теплового насоса.

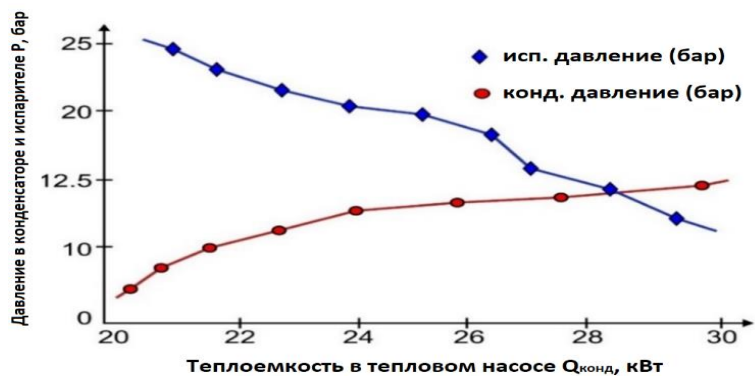


Рисунок 3.23 - Зависимость давления в конденсаторе и испарителе от теплоемкости в тепловом насосе

На рисунке 3.24 показана зависимость изменения теплоемкости от массового расхода воды. Как видно из этой зависимости, падение давления между конденсатором и испарителем увеличивается при охлаждении системы, работа компрессора увеличивается из-за уменьшения теплоемкости конденсатора

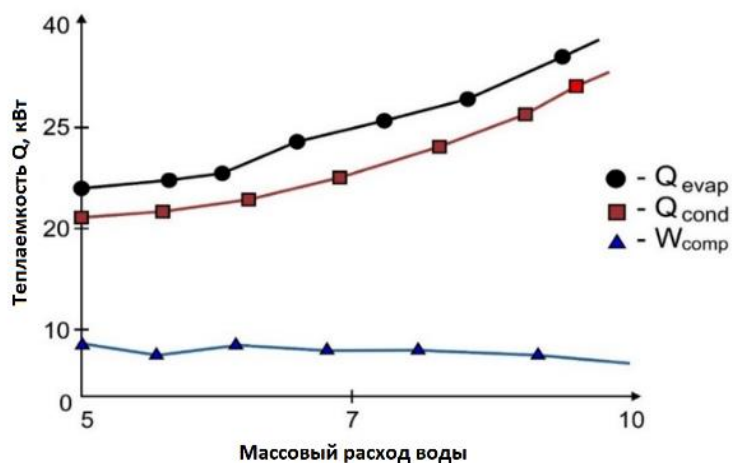


Рисунок 3.24 - Зависимость изменения теплоемкости от массового расхода воды

На рисунке 3.25 показано исследование зависимости энергии теплового насоса от изменения давления. Можно заключить, что, когда работает компрессор, потребление уменьшается, следовательно, увеличивается КПД. И когда увеличивается теплоемкость конденсатора, увеличивается КПД, а холодопроизводительность практически одинакова.

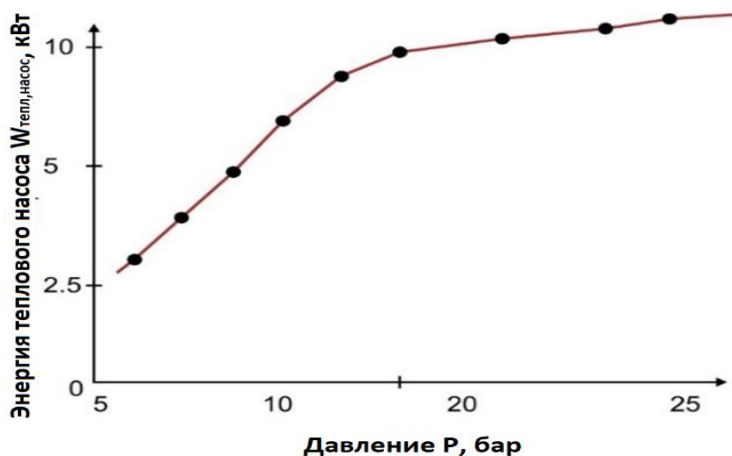


Рисунок 3.25 - Зависимость энергии теплового насоса от изменения давления

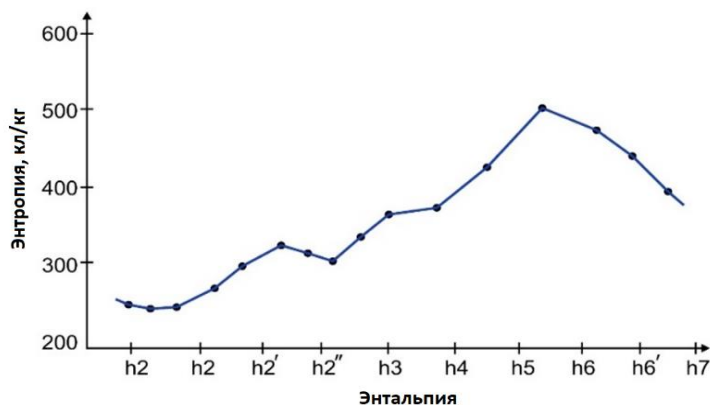


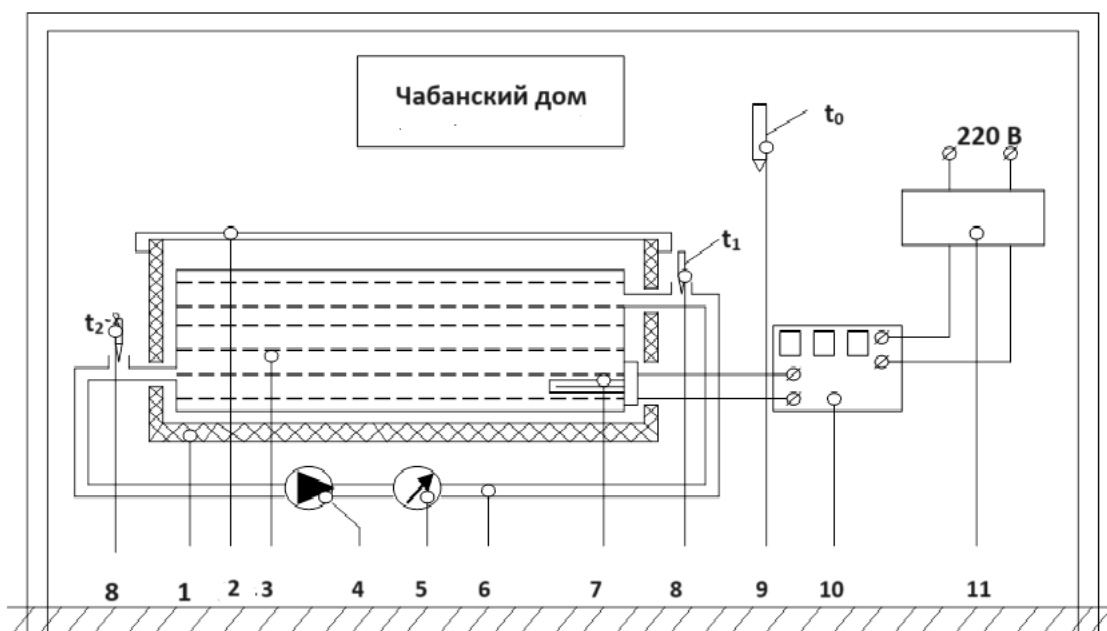
Рисунок 3.26 - Зависимость изменения энтропии от энтальпии в тепловом насосе

На рисунке 3.26 показана зависимость изменения энтропии от энтальпии в тепловом насосе. Экспериментально обоснованно утверждение, что система теплового насоса эффективно работает в режиме отопления при точно измеренной температуре наружного воздуха, типичной для климатической зоны г. Алматы (Казахстан). Экономический анализ показывает, что затраты на потребленную электрическую энергию от системы теплового насоса для зимнего отопительного сезона в рассматриваемых температурных интервалах чрезвычайно эффективны. Результаты исследования могут быть использованы как при проектировании систем теплового насоса типа воздух-вода, так и при поиске архитектурных решений энергоэффективных зданий.

### 3.2.1 Экспериментальные исследования режимов электрического нагрева плоского солнечного гелиоколлектора

Экспериментальные исследования и обоснование параметров энергосберегающего способа электрического нагрева выполнялись на стенде, схема, которой приведена на рисунке 3.27.





1 – теплоизолированный корпус плоского солнечного гелиоколлектора; 2 – светопрозрачное покрытие; 3 – бак-адсорбер (БА); 4 – циркуляционный насос; 5 – расходомер; 6 – трубопровод; 7 – ТЭН; 8, 9 – термометры для измерения температуры воды на входе и выходе из БА и окружающей среды; 10 – комплект электроизмерительных приборов К 501; 11 – автотрансформатор (АТР)

Рисунок 3.27 – Схема стенда для исследования закономерностей электрического нагрева плоского солнечного гелиоколлектора

Она содержит: исследуемый плоский солнечный гелиоколлектор, состоящий из теплоизолированного корпуса 1, светопрозрачного покрытия 2, бака-адсорбера 3, а также циркуляционный насос 4, расходомер 5, трубопроводы 6, ТЭН с терморегулятором 7, термометры 8, 9, для измерения температуры воды на входе ( $t_1$ ) и на выходе ( $t_2$ ) из бака и окружающей среды ( $t_m$ ), измерительный прибор К 501 и автотрансформатор 11 для регулирования мощности ТЭНа.

Нагрев воды осуществляется включением ТЭНа в сеть через автотрансформатор, который позволяет плавно регулировать его мощность от 0 до номинальной величины. Циркуляционный насос служит для размешивания и выравнивания температуры воды между нижними и верхними слоями.

*Метрологическое обеспечение измерений:*

– термометры ртутные, с ценой деления  $0,1^{\circ}\text{C}$ , для измерения температуры воды на входе ( $t_1$ ) и на выходе ( $t_2$ ). Устанавливаются на расстоянии 10 см от коллектора (позиция 8);

– термометр ртутный ценой деления  $0,2^{\circ}\text{C}$  для измерения температуры окружающей среды ( $t_m$ ) (позиция 9).

Энергоёмкость процесса за искомый интервал времени определяется умножением мощности, измеренной по показанию ваттметра, на продолжительность интервала, для каждого часового интервала, а общая энергоёмкость суммированием энергоёмкостей интервалов.

Электрический нагрев в режиме линейного повышения температуры от  $t_0$  до  $t_k$  осуществляется регулированием напряжения от начального  $U_0$  до конечного  $U_k=220$  В по определённой расчётной закономерности, где интервальные значения напряжения рассчитываются по формуле.

$$U = \sqrt{cm \cdot (t_i - t_{i-1}) + k \cdot (t_i - t_{i-1}) \cdot \tau \cdot R_n}$$

где  $R_n$  – сопротивление ТЭНа;  $t_i, t_{i-1}$  – температуры воды в  $i$ -м и  $i-1$ -м интервале,  $k=0,029$  кВт·ч/град – коэффициент суммарных теплопотерь гелиоколлектора-аккумулятора (определяется экспериментально),  $k=U_i \cdot S_{ГКА}$ , а  $S_{ГКА}$  – площадь поверхности плоского солнечного гелиоколлектора.

Изменение напряжения производится вручную, ступенчато, с часовым интервалом, а эксперимент с регулированием напряжения повторяется для каждой номинальной мощности ТЭНа,  $P_n=1,5; 3,0$  и  $4,5$  кВт.

Результаты экспериментальных измерений и расчётные значения динамики неуправляемого (при постоянной мощности ТЭНа) электрического нагрева плоского солнечного гелиоколлектора, в зависимости от времени, ТЭНами различной мощности ( $P_{ТЭН}=1,5, 3,0$  и  $4,5$  кВт) приведены на рисунке 3.28. Анализ показывает, что расхождение между экспериментами и результатами вычислений составляет в среднем от 5 до 9%, что подтверждает сходимость теоретических выводов.

Графики имеют экспоненциальную закономерность, связанную с ростом тепловых потерь с увеличением температуры нагрева, где в рабочем диапазоне – от 20 до 60С<sup>0</sup>, нагрев гелиоколлектора-аккумулятора при мощности ТЭНа 1,5 кВт, достигался за 8...9 часов.

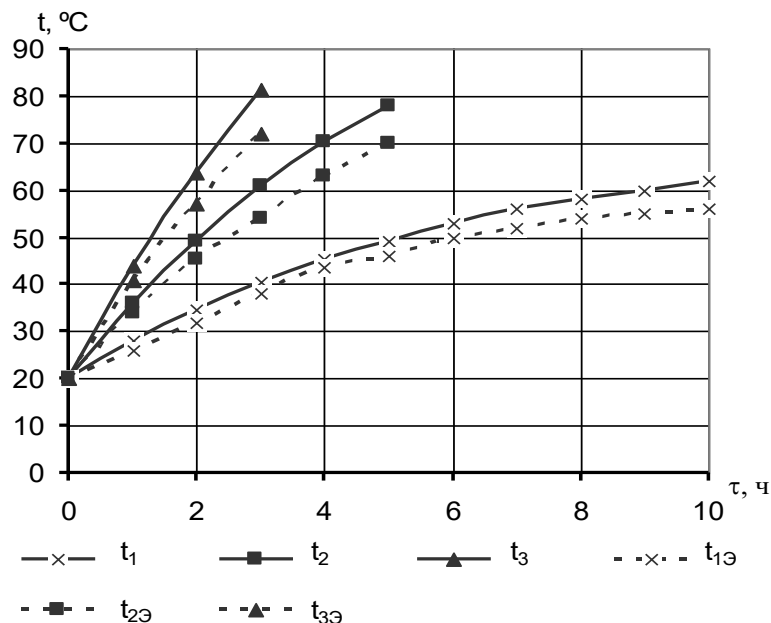


Рисунок 3.28 – Динамика неуправляемого электрического нагрева воды в плоском солнечном гелиоколлекторе с ТЭНами различной мощности (1 – 1,5 кВт; 2 – 3,0 кВт; 3 – 4,5 кВт)

С увеличением мощности ТЭНа в два раза – до 3,0 кВт, температура 60°C достигалась за 3 часа, а при мощности ТЭНа 4,5 за 1,6...1,8 ч. При этом закономерность температуры во времени изменялась практически линейно.

Определены расчётные и экспериментальные энергоёмкости неуправляемого (при постоянной мощности ТЭНа) нагрева воды в гелиоколлекторе. Сопоставимость результатов была обеспечена соблюдением одинаковых условий экспериментов и расчётов. Результаты экспериментальных измерений приведены на рисунке 3.28 в знаменателе, а расчётные значения в числителе (верхние цифры).

Установлено, что с увеличением мощности энергоёмкость процесса снижается. Например, при мощности 1,5 кВт энергоёмкость (экспериментальная) электрического нагрева составила 14,8 кВт·ч, в том числе тепловые потери 7,8 кВт·ч или 52,7%. С увеличением мощности нагрева в 2 раза (3,0 кВт) энергоёмкость нагрева снизилась до 9,8 кВт·ч, а тепловые потери до 2,8 кВт, т.е. до 28%, при мощности 4,5 кВт энергоёмкость составила 9,2 кВт·ч, а тепловые потери 2,2 кВт·ч, т.е. снизилась до 24%.

Исследованы закономерности управляемого электрического нагрева.

На рисунке 3.29 приведены экспериментальные и расчётные результаты энергоёмкости процессов при нагреве мощностью 1,5, 3,0 и 4,5 кВт.

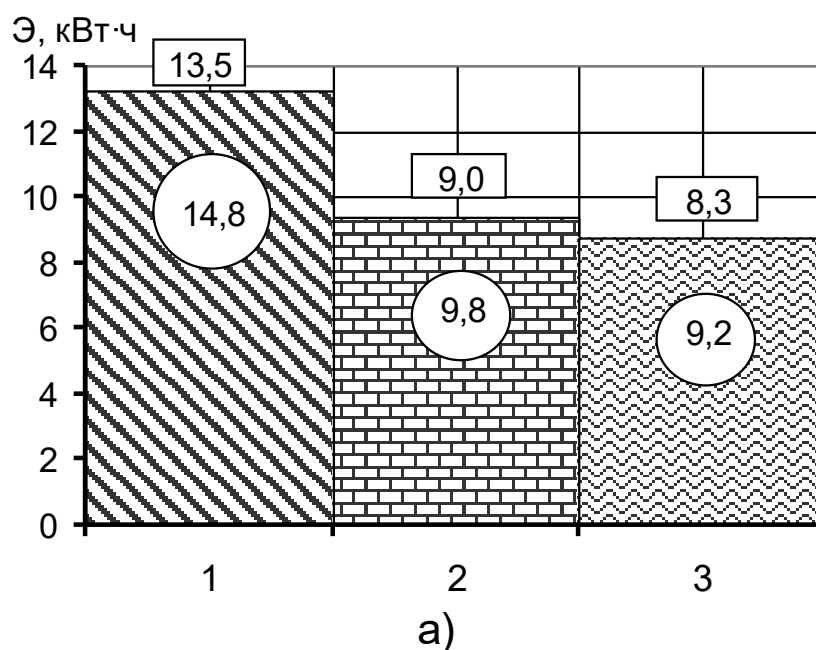


Рисунок 3.29 – Расчётная (числитель) и экспериментальная (знаменатель) энергоёмкости электронагрева с 20 до 60°C при постоянной мощности ТЭНа: 1 – 1,5 кВт; 2 – 3,0 кВт; 3 – 4,5 кВт

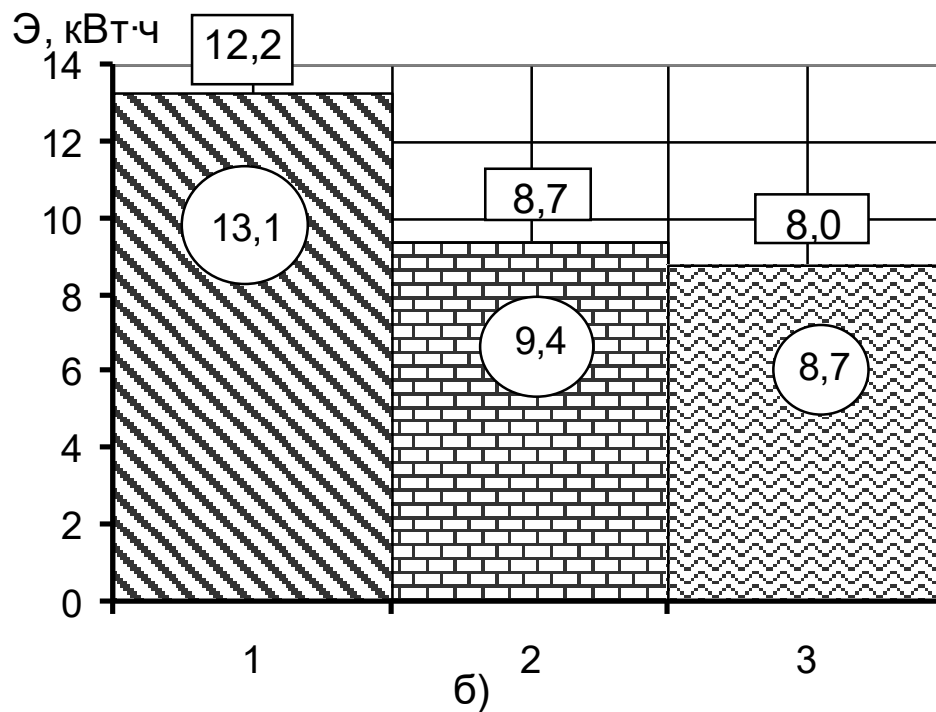


Рисунок 3.30 – Расчётные и экспериментальные энергоёмкости управляемого электронагрева регулированием напряжением ТЭНа  
 (1 – P=1,5 кВт, U=165÷220 В; 2 – P=3,0 кВт, U=200÷220 В;  
 3 – P=4,5 кВт, U=210÷220 В)

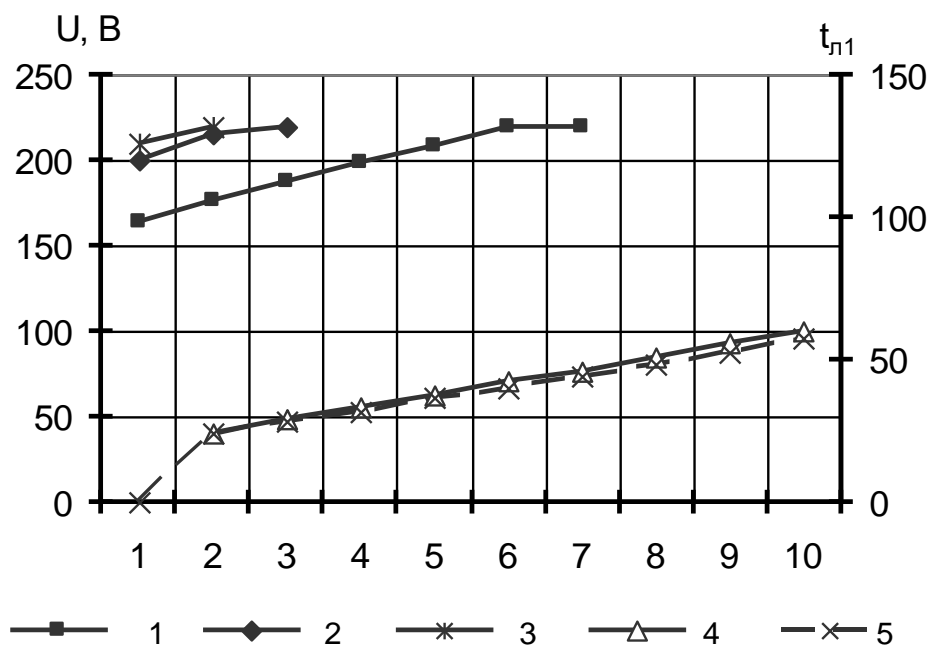


Рисунок 3.31 – Закономерности регулируемого напряжения при нагреве ТЭНами мощностью 1,5; 3,0 и 4,5 кВт (соответственно графики 1, 2 и 3) и температуры линейного нагрева ТЭНам мощностью 1,5 кВт

В процессе управляемого нагрева обеспечивался линейный рост температуры от 20 до 60°C, путём регулирования напряжения ТЭНа мощностью 1,5 кВт от

$U_0=165\text{В}$  до  $U_n=220\text{В}$ . При этом энергоёмкость процесса составила 13,1 кВт, т.е. была меньше на 1,7 кВт·ч или на 11,5%, чем при неуправляемом нагреве.

Такая же закономерность соблюдалась и при других мощностях. Энергоёмкость управляемого нагрева при мощности 3,0 кВт была 9,4 кВт·ч, а при неуправляемом 9,8 кВт. При мощности 4,5 кВт эти показатели составили соответственно 8,7 и 9,2 кВт·ч. Т.е. достигнуто снижение энергоёмкости всего на 4% относительно неуправляемого нагрева.

На рисунке 3.31 приведены закономерности изменения напряжения (графики 1, 2, и 3) при котором обеспечивался линейный рост температуры нагрева, а на графиках 4 и 5, в качестве примера, соответственно расчётная и экспериментальная (пунктирная кривая) закономерности линейного нагрева ТЭНом мощностью 1,5 кВт при регулировании напряжения от  $U_0=165\text{В}$  до  $U_n=220\text{В}$ , где максимальное расхождение расчётной и экспериментальной температур не превышало  $5\text{С}^\circ$ .

Приведённые испытания установки подтвердили высокую работоспособность, надёжность и безопасность для горячего водоснабжения процессов на молочно-товарных фермах с поголовьем от 10 до 100 голов КРС. Установки могут функционировать круглогодично – в тёплый период года (в условиях Алматинской области, май - октябрь) от солнечной энергии, а в остальной период от электрической и частично от солнечной. Лёгкость монтажа и демонтажа, высокая транспортабельность позволяют без больших трудозатрат переходить с летнего на зимний режим и обратно, а также использовать их как в стационарных, так и в пастбищных условиях. В сравнении с электроводонагревателями годовой экономический эффект обеспечивается за счёт экономии электрической энергии (до 50%). Экономическая эффективность, в сравнении с известными гелиоустановками, подобного типоразмера, обеспечивается относительно низкой стоимостью, достигаемой использованием соответствующих материалов и новых технических решений.

### **3.2.2 Прогнозирование времени нагрева, КПД теплового насоса и разгрузки работы системы солнечного теплоснабжения с использованием искусственных нейронных сетей**

Подходящим инструментом для прогнозирования, функционального приближения, оптимизации, моделирования и прогноза производительности тепловых систем, а также для вычисления высоких скоростей обработки используют искусственные нейронные сети (ANN, ИНС). ИНС состоят из простых элементов и работают параллельно. Они изучают отношения между входными параметрами, а также контролируемыми и неконтролируемыми переменными для анализа ранее записанных данных. Еще одно преимущество использования ANN – способность обрабатывать большие и сложные системы с взаимосвязанными параметрами. Сеть обычно состоит из входного слоя, нескольких скрытых слоев и выходного слоя.

Моделирование ANN выполняется в два этапа; первый шаг – обучить сеть, второй – проверить сеть с данными, которые не используются для обучения. Хотя обучение занимает много времени, они очень быстро принимают для решения любой операции. ANN обучен с подходящим методом обучения для выполнения определенной функции, регулируя значения веса. Процесс продолжается до тех пор, пока сетевой выход не совпадет с выходом. Изменение весов и смещений уменьшает ошибку между выходом сети и желаемым выходом. Тренировочный процесс завершается, когда ошибка падает ниже определенного значения. Сеть использует режим обучения, в котором входы представлены в сети вместе с желаемым результатом, а веса корректируются так, что сеть пытается произвести желаемый вывод.

Архитектура нейронной сети, выбранная с помощью входных и выходных параметров, показана на рисунке 3.32. Входными параметрами для этой настоящей работы являются солнечное излучение, полученное на единицу площади, нагнетатель теплового насоса и температура окружающей среды. Солнечная радиация – энергия солнечного излучения, которая падает на плоский солнечный коллектор для соответствующего нагрева воды во времени в определенном цикле работы. Вторым входным параметром является нагнетатель теплового насоса, и настоящая работа выполняется для подающей глубины 0,5 м. Третий входной параметр – температура окружающей среды – также записывается для каждого значения времени нагрева. Выходными параметрами в этой работе являются время нагрева для каждого цикла работы, КПД теплового насоса и расхода из системы.

Математически КПД системы можно записать в таком виде:

$$\eta = \frac{\rho_w * V_w * g * H}{I_\beta}, \quad (3.3)$$

где  $H$  – напор в м,  $V_w$  – объем поднятой воды и  $I_\beta$  – интенсивность солнечного излучения в Вт/м<sup>2</sup>.

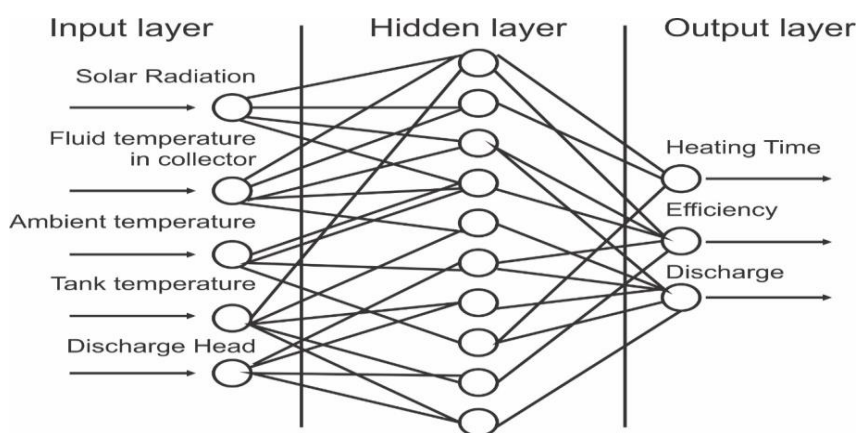


Рисунок 3.32 - Сетевая архитектура для плоского солнечного коллектора с тепловым насосом

На рисунке 3.32 показана сетевая архитектура для плоского солнечного коллектора с тепловым насосом. Полученные экспериментальные данные – в нашем случае 100 наборов – используются для обучения сети. Входные данные делятся на обучающие наборы (70%), проверочные наборы (15%) и наборы для тестирования (15%). В представленном в работе моделировании использовался алгоритм обучения с одним скрытым слоем. Опуская распространение ошибки от выходных слоев к нижнему слою, алгоритм оптимизирует синаптический вес (скрытый слой и входной слой). Модель ANN аппроксимируют желаемый результат с каждой итерации, чтобы ошибки уменьшались, и затем они передаются в ANN для регулировки весов. Сеть обучается до достижения выбранной цели ошибки. В настоящей работе используется сигмовидная передаточная функция Tan в качестве функции активации для скрытого и выходного слоев. В таблице 3.3. представлен коэффициент корреляции для разного количества нейронов.

Таблица 3.3. – Коэффициент корреляции для разного количества нейронов

Число нейронов в скрытом слое	Коэффициент корреляции
7	0,99988
9	0,99978
12	0,99965
14	0,99897
16	0,9984

$$RMSE = \sqrt{\frac{(X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (3.4)$$

$$CC = \frac{N \sum (X_i * Y_i) - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{(N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2)(N \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2)}} \quad (3.5)$$

$$APE = \frac{1}{N} \sum \left( \frac{abc(X_i - Y_i)}{X_i} \right) * 100, \quad (3.6)$$

где  $X_i$  – экспериментальные значения и  $Y_i$  – ANN прогнозируемые выходные значения.

В данном исследовании эксперименты с тепловым насосом проводились для глубины 0,5 м. Экспериментальные работы велись непрерывно, в течение одной недели. Плоский солнечный коллектор каждый день подвергался воздействию радиации с 7:00 утра, тепловой насос был готов выполнить свой первый цикл к 11:00.

На рисунке 3.33 показано изменение солнечного излучения во времени в солнечный день. Максимальная разрешимость солнечной радиации в день с экспериментальными данными составляет промежуток между 11:00 и 17:00.

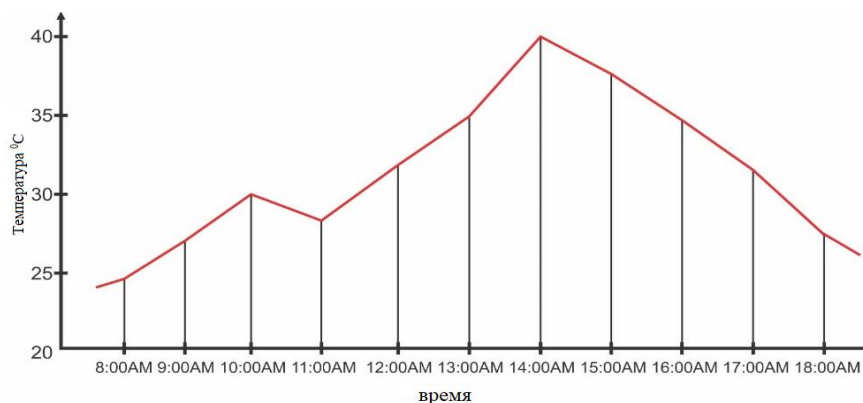


Рисунок 3.33 - Изменение солнечного излучения во времени в солнечный день

Тепловой насос дает лучшую производительность в течение этого интервала времени, и экспериментальные результаты в точности совпадают. Время нагрева в полдень оказывается намного меньше по сравнению с другим временем.

На рисунке 3.34 показано изменение температуры окружающей среды во времени. График демонстрирует данные кривой солнечного излучения, как и в случае с солнечной радиацией, которая напрямую влияет на температуру окружающей среды.

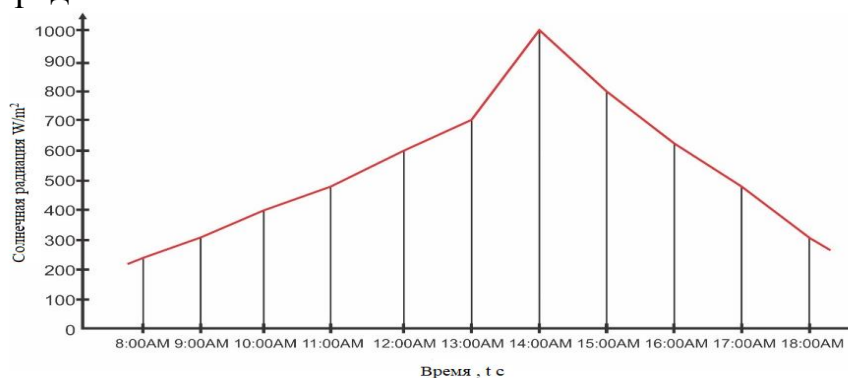


Рисунок 3.34 - Изменение температуры окружающей среды во времени

На рисунке 3.35 показано точное изменение давления во времени, когда тепловой насос находится на глубине 0,5 м и колеблется между двумя пределами.

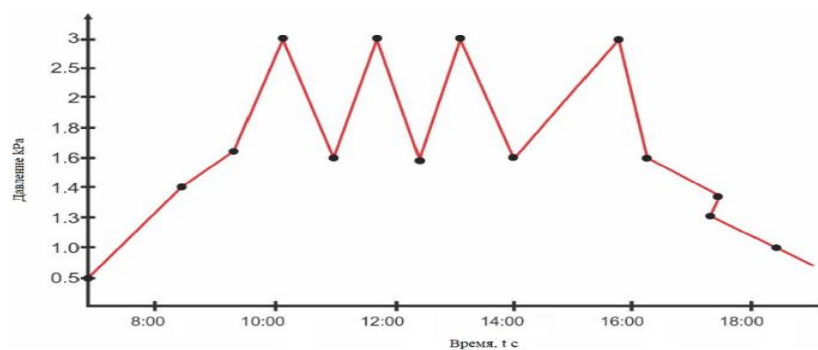


Рисунок 3.35 - Точное изменение давления во времени



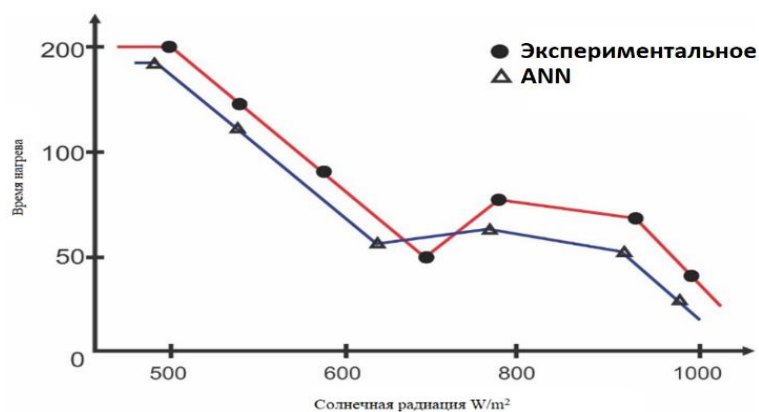


Рисунок 3.36 - Зависимость время нагрева теплового насоса от солнечной радиации

Из анализа эффективности видно, что при увеличении время нагрева испарителя теплового насоса увеличивается давление. Такие параметры производительности, как эффективность и расход воды, в зависимости от отопительного времени также уменьшаются с увеличением высоты.

Из данных испытаний время нагрева, эффективности теплового насоса и разгрузки моделируется для глубины 0,5 м с использованием модели, разработанной ANN. Экспериментальные результаты, сравниваются с прогнозами ANN для времени нагрева, эффективности цикла и разгрузки теплового насоса на глубине 0,5 м (рис. 3.37). Результаты подтверждают, что прогнозируемые значения ANN находятся в хорошем согласии с экспериментальными значениями.

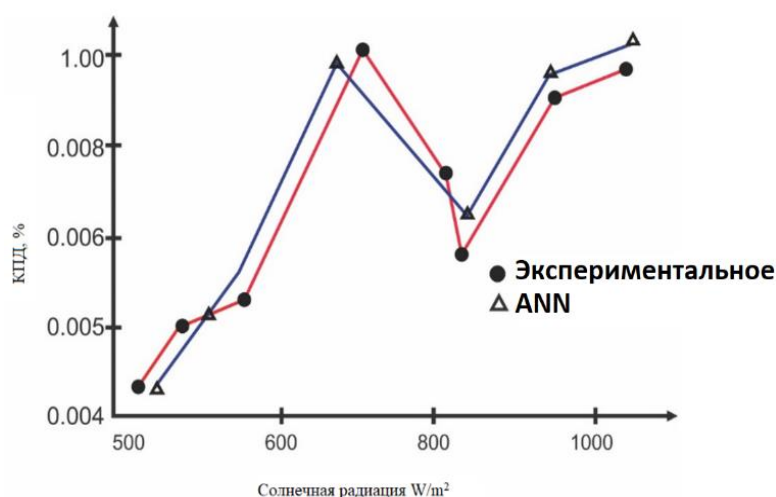


Рисунок 3.37 - Зависимость КПД теплового насоса от солнечной радиации

Производительность модели ANN оценивается с точки зрения трех статистических параметров: коэффициента корреляции (СС), средней процентной ошибки (APE) и среднеквадратической ошибки (СКО). Сравнение прогнозов ANN и расчетные значения времени нагрева, эффективности цикла и расхода дает коэффициенты корреляции 0,99326, 0,99548 и 0,99430 соответственно. Значения RMS и APE для времени нагрева, цикл КПД и расход приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. – Параметры производительности для модели ANN

Параметры	Время нагрева	Эффективность	Разряд
RMSE	0,000128	0,000089	0,000456
CC	0,99458	0,99654	0,99457
APE	2,95	2,87	3,98

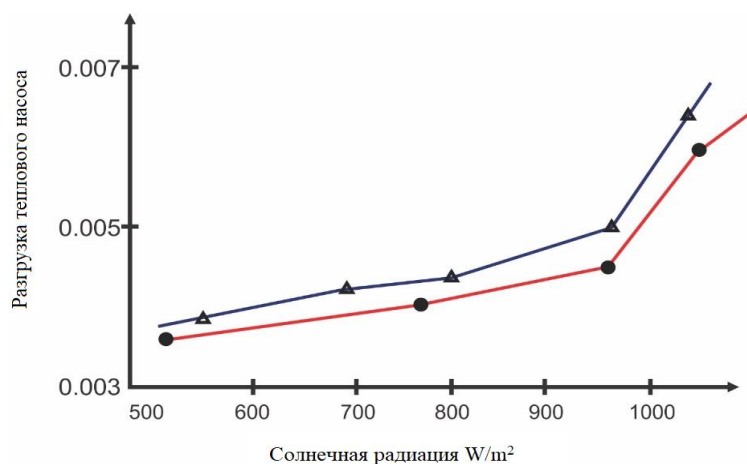


Рисунок 3.38 - Зависимость разгрузки теплового насоса от солнечной радиации

На рисунке 3.38 показана зависимость разгрузки теплового насоса от солнечной радиации. В данной работе были оценены экспериментальные исследования параметров производительности: время нагрева, КПД теплового насоса и разгрузки по изготовлению плоских солнечных коллекторов совместно с работающим тепловым насосом на глубине 0,5 м. Тепловой насос способен работать семь циклов в день. С помощью эффективного плоского солнечного коллектора было улучшено время нагрева для работы жидкости и конденсации пара. При эксперименте наблюдалось высокое время нагрева для каждого рабочего цикла на любой высоте. При различных условиях работы была разработана модель искусственной нейронной сети для оценки производительности системы солнечного теплоснабжения с тепловым насосом. Результаты подтверждают, что прогнозируемые значения ANN находятся в хорошем согласии с экспериментальными значениями.

### 3.2.3 Решение численных и статистических данных и построение прогнозной модели с помощью компьютерной обучающей программы LightGBM для системы солнечного теплоснабжения «плоский солнечный коллектор + тепловой насос»

Gradient Boosting Decision Tree (GBDT) – это популярный алгоритм машинного обучения с довольно многочисленными эффективными реализациями, такими как XGBoost и pGBRT.

LightGBM имеет целевые и входные переменные. Для конкретного алгоритма решения задачи условно подбираются пороги, чтобы справа целевая переменная падала, а входные переменные росли. GBDT является ансамблевой моделью деревьев решений, которые обучаются в последовательности. В каждой итерации GBDT изучает деревья решений, подбирая отрицательные градиенты (также известные как остаточные ошибки).

#### Algorithm 1: Метод регрессии

---

```
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split, RandomizedSearchCV
import lightgbm as lgb
from sklearn.metrics import mean_squared_error
import matplotlib.pyplot as plt
params = {
    'boosting_type': 'gbdt',
    'objective': 'regression',
    'metric': {'l2', 'l1'},
    'num_leaves': 31,
    'learning_rate': 0.05,
    'feature_fraction': 0.9,
    'bagging_fraction': 0.8,
    'bagging_freq': 5,
    'verbose': 0
}
%matplotlib inline
```

---

С помощью пакета программы LightGBM разработан метод регрессии, когда целевая переменная является непрерывно дискретной, как на примере солнечной радиации, суммарной солнечной радиации, тепла атмосферного воздуха. Считывается расстояние, т. е. метрики  $l_1$  и  $l_2$ , где  $l_1$  – сумма модулей разности,  $l_2$  – сумма квадратов разностей. В данном алгоритме имеется собрание библиотек классов Boost, где показывается вес выборки. Это служит хорошим индикатором важности экземпляров данных. Однако в GBDT нет собственных весов выборки, и, таким образом, методы выборки, предложенные для AdaBoost, не могут быть применены напрямую. Для каждого экземпляра данных в LightGBM предоставляется полезная информация для выборки данных. Т. е. если экземпляр связан с небольшим уклоном, ошибка обучения для этого экземпляра мала и он уже хорошо обучен.

#### Algorithm 2: Расчет количества листьев

---

```
data = pd.read_excel("D:\\temp\\mura.xlsx", skiprows=1)
data.columns = ["col%s"%ind for ind in range(11)]
```

---

Во втором алгоритме рассчитывается количество листьев, где лист – это конечная точка, которая позволяет задать точность прогнозирования параметров.

---

#### Algorithm 3: Скорость обучения

---

```
for ind in range(1,10,1):
    data['col%s'%ind] = data['col%s'%ind].astype('float64')
    INPUT = ['col1','col2','col3','col4']
    OUTPUT = ['col5','col6','col7','col8','col9','col10']
ORIGIN = [u'T bak',u'T koll vyh',u'KPD',u'T sol rad',u'Hladoproizvod tep
nas',u'Teploproizv Tep nas']
```

---

В третьем алгоритме рассматривается скорость обучения, благодаря чему можно регулировать шаг подборки. В данном алгоритме может быть не один порог, а несколько порогов. При решении данной задачи для расчетов термодинамических и теплотехнических параметров системы солнечного теплоснабжения не нужно нормализовывать входные переменные.

---

#### Algorithm 4: Тестовые и обучающие множества

---

```
def train_gbm(data,col,cnt):
    X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(data[INPUT], data[col],
test_size = 0.20)
    # create dataset for lightgbm
    lgb_train = lgb.Dataset(X_train, y_train)
    lgb_eval = lgb.Dataset(X_test, y_test, reference=lgb_train)
    print('Starting training...',col)
    # train
    gbm = lgb.train(params,
lgb_train,
num_boost_round=20,
valid_sets=lgb_eval,
early_stopping_rounds=5)

    print('Saving model...')
    # save model to file
    gbm.save_model('model.txt')

    print('Starting predicting...')
    # predict
    y_pred = gbm.predict(X_test, num_iteration=gbm.best_iteration)
    # eval
    print('The rmse of prediction is:', mean_squared_error(y_test, y_pred) ** 0.5)
    ax = plt.subplot(2,3,cnt+1)
    plt.plot(list(range(1,21,1)),y_test,'b')
    plt.plot(list(range(1,21,1)),y_pred,'r')
```

```

ax.set_title(ORIGIN[cnt-1])
plt.figure(figsize=(15,15))
for cnt,col in enumerate(OUTPUT):
train_gbm(data,col,cnt)

```

Для того чтобы протестировать прогностическую модель в четвертом алгоритме, разбивают на тестовые и обучающие множества соотношением 20:80. Получившиеся графики при тестировании теплотехнических параметров по оси абсцисс от 0 до 20 – это номера тестовых примеров, а по оси ординат – входные и выходные параметры системы солнечного теплоснабжения.

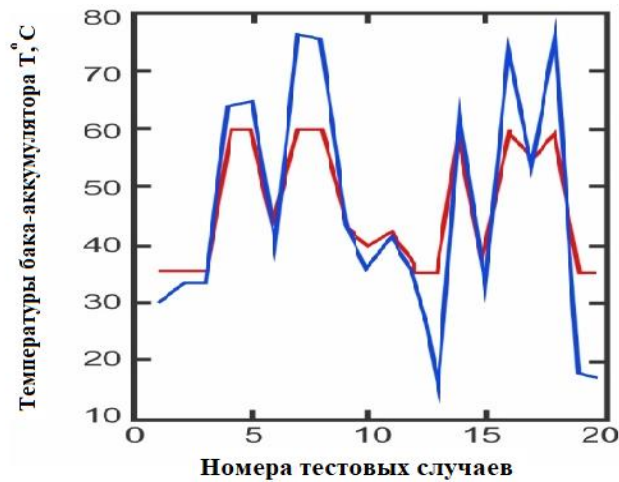


Рисунок 3.39 - Зависимость температуры бака-аккумулятора от номера тестовых случаев

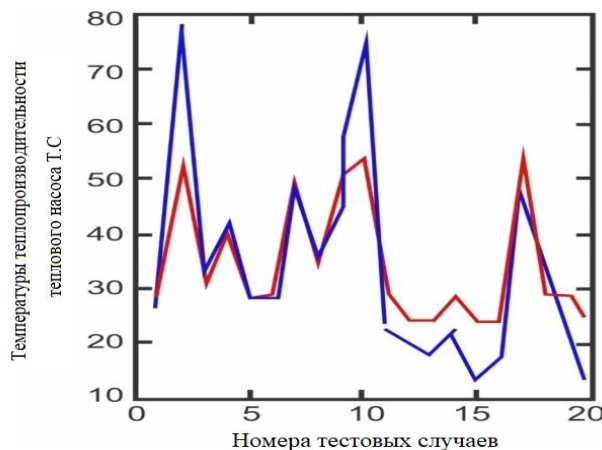


Рисунок 3.40 - Зависимость температуры теплопроизводительности теплового насоса от номера тестовых случаев

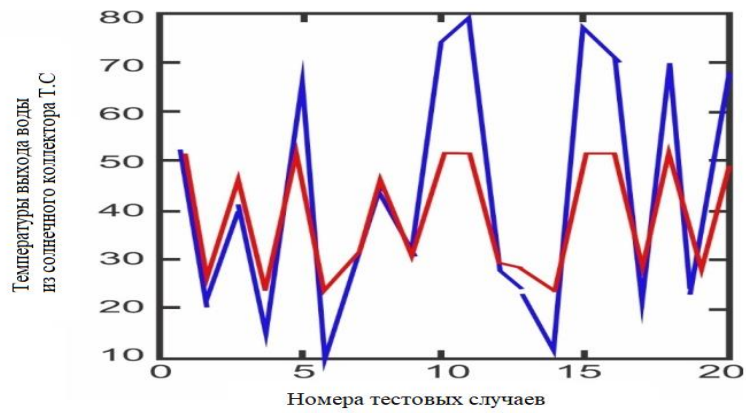


Рисунок 3.41 - Зависимость температуры выхода воды из солнечного коллектора от номера тестовых случаев

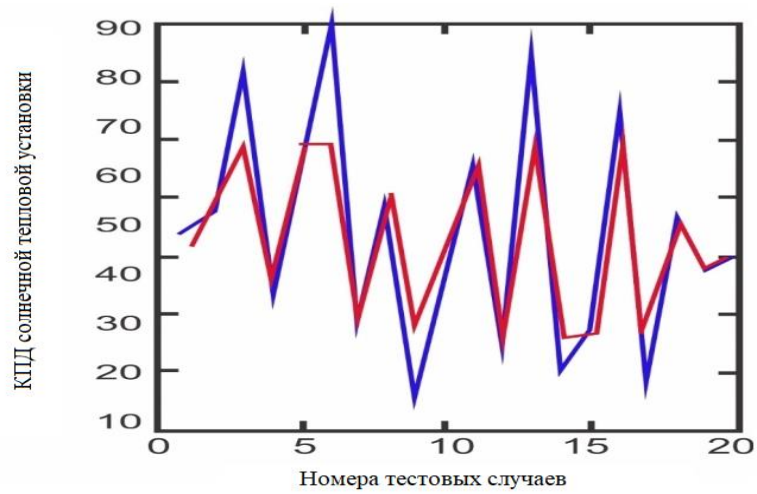


Рисунок 3.42 - Зависимость КПД солнечной тепловой установки от номера тестовых случаев

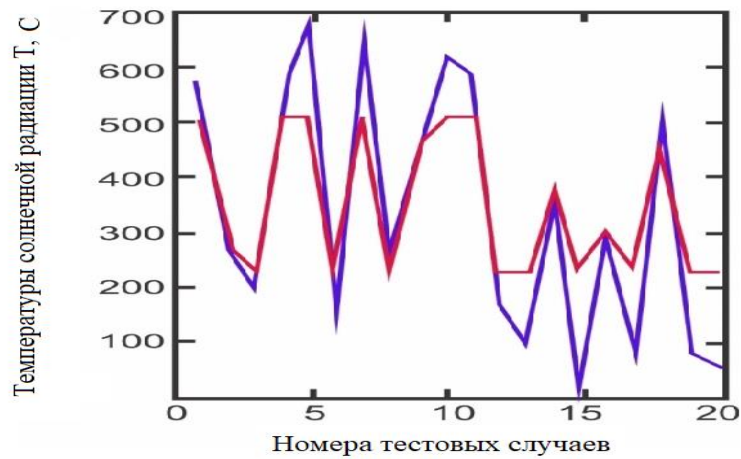


Рисунок 3.43 - Зависимость температуры солнечной радиации в г. Алматы (Казахстан) от номера тестовых случаев

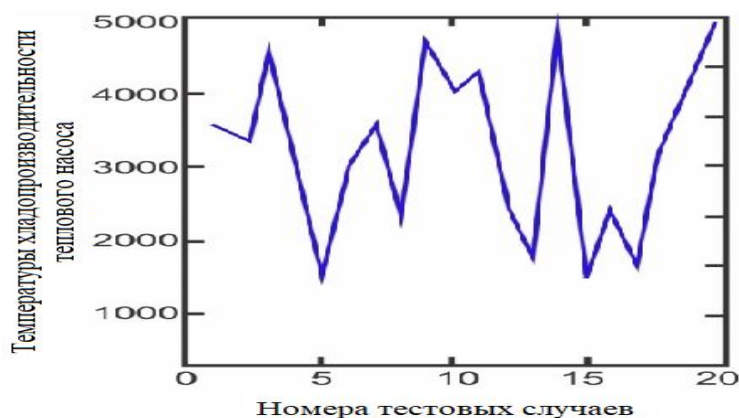


Рисунок 3.44 - Зависимость температуры хладопроизводительности теплового насоса номера тестовых случаев

На рисунках 3.39-3.44 показаны зависимости солнечной радиации, бака-аккумулятора от номера тестовых случаев, температуры хладопроизводительности теплового насоса.

При моделировании прогностической модели с помощью машинного обучения для разработки математической модели системы «гелиоколлектор + тепловой насос» происходит повторение форм по обучающей модели. В результате проведенных численных статистических экспериментов и построения прогностической модели установлена возможность построения функциональных зависимостей между входными и выходными параметрами. Ошибка между экспериментальным (лабораторным) и численным (статистическим) методами заключается в том, что температура бака аккумулятора составляет  $7,75^{\circ}\text{C}$ , температура выхода горячей воды из солнечного коллектора –  $4,49^{\circ}\text{C}$ , КПД всей системы солнечного теплоснабжения –  $7,74^{\circ}\text{C}$ , температура солнечной радиации –  $4,66^{\circ}\text{C}$ , теплопроизводительность теплового насоса –  $87^{\circ}\text{C}$ , а хладопроизводительность –  $15^{\circ}\text{C}$ . Можно сделать вывод, что пакет LightGBM достаточно хорошо обучен. Также можно расширить обучающую выборку, чтобы потенциально улучшить точность прогнозирования параметров [81].

В работе [82] была разработана методика теплотехнических испытаний низкотемпературных коллекторов солнечной энергии. В статье [83] разработали и исследовали методику поиска и тестирования солнечных коллекторов. В работе [84] исследовали метод испытаний для оценки солнечных коллекторов на основе тепловых характеристик. В статье [77] исследовали новое соглашение о процедурах испытаний – первый шаг для разработок солнечных коллекторов. В статье [78] произвели расчет строительства испытательного комплекса на открытом солнечном коллекторе. В [79] дали определение применения уравнения Хоттеля – Виллиера – Блисса для систем солнечного теплоснабжения. В работе [80] произвели оценку производительности плоского солнечного коллектора с солнечным симулятором в качестве основы для выбора коллектора и прогнозирования производительности.

### 3.2.4 Разработка и исследование алгоритма управления и программного обеспечения солнечного контроллера для двухконтурных солнечных коллекторов

Автоматизированные контроллеры, предназначенные для управления солнечными тепловыми установками, должны характеризоваться модульной структурой. Это позволяет обновить функциональность контроллера с дальнейшим развитием установки. В этом параграфе представлен пример прототипа модульного солнечного контроллера, основанного на свободно программируемой платформе Mojo v3 FPGA board.

В настоящем исследовании шесть цифровых температурных датчиков (Dallas DS18B20) 2, 3, 4, 5, 6, 7 регистрируют температуру плоского солнечного коллектора с термосифоном. Датчики контролируются программируемой логической интегральной схемой 1 Mojo v3 (рис. 3.39). Показания температур записываются и хранятся на ETHERNET modul 9, каждые 5 с отправляются температурные данные и состояния клапанов 10. Часы реального времени (RTC) 8 записывают дату и время измерений температурных данных, отправляя их на программируемую логическую интегральную схему Mojo v3. Шесть датчиков подключены к плате Mojo v3 с шестью электрическими проводами, запрограммированной на языке VHDL. После обработки данные, полученные от RTC 8, сохраняются в XML (расширяемый язык разметки) в ETHERNET module.

Язык XML облегчает обработку данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц. Температурные данные, дата, время и состояния клапанов системы отображаются на дисплее 11.

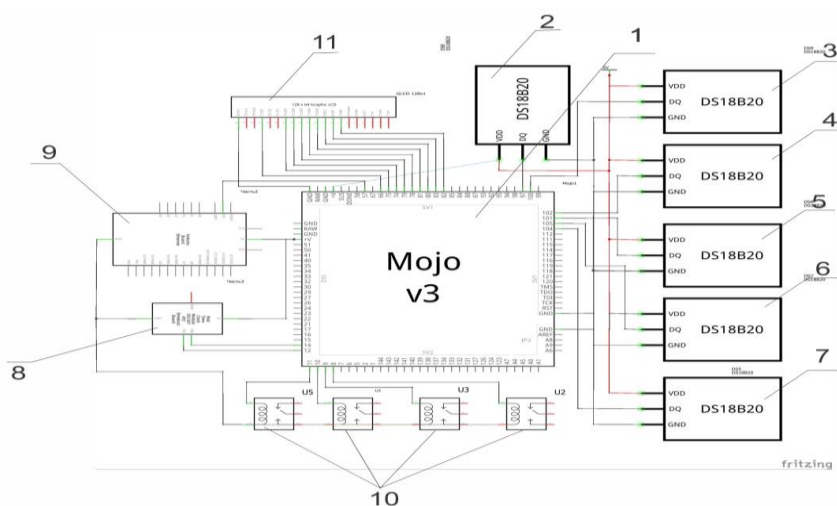


Рисунок 3.45 - Принципиальная схема соединения Mojo v3 с датчиками системы управления контроллером

Язык XML облегчает обработку данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц. Температурные данные, дата, время и состояния клапанов системы отображаются на дисплее 11. На рисунке 3.46 показана принципиальная схема контроллера на платформе Mojo v3.



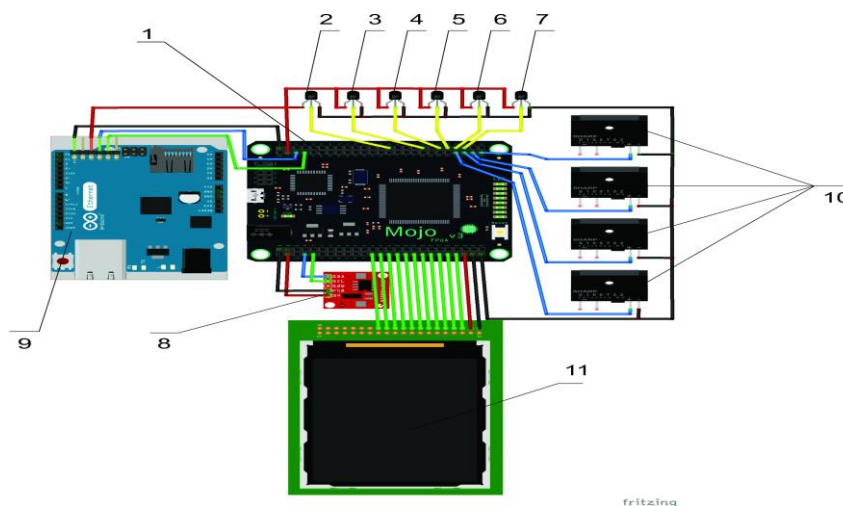


Рисунок 3.46 - Принципиальная схема контроллера на платформе Mojo v3

Для создания и исследования платформы мониторинга тепловой системы управления солнечной установкой, основанной на использовании платформы Mojo v3, описан принцип работы каждого элемента, из которого будет выполнен контроллер сетевого управления и мониторинга.

Mojo v3 является программно-логической интегральной схемой Spartan 6 XC6SLX9 FPGA, 84 с цифровыми ввод-выводами, 8 аналоговыми входами, 8 светодиодами общего назначения, кнопкой сброса, одним светодиодом, чтобы показать, когда FPGA правильно настроен. Платформа также состоит из микроконтроллера (ATmega32U4), используемого для настройки FPGA, USB-связи и считывания аналоговых выводов.

Встроенное регулирование напряжения может выдержать 4,8–12 В. Встроен совместимый загрузчик Arduino, позволяющий легко программировать, и микроконтроллер. На борту флэш-памяти для хранения файла конфигурации FPGA версия Mojo v3 отличается более надежным портом USB, чем v2, незначительными косметическими изменениями и обновленным микроконтроллером с дополнительной памятью для добавления собственного кода.

В системе управления солнечным коллектором построен оптимальный алгоритм. Сначала программа активирует библиотеки и константы, потом подключается модуль часы в реальном времени, происходит активация температурных датчиков и связи с сервером. Если все устройства активируются, тогда устанавливается связь, если нет – начинается работы активация. Если связь установлена с сервером, тогда сохраняется xml-файл в Ethernet-модуле. Затем считываются температурные данные датчиков и записываются данные о температуре в Ethernet-модуле.

Для управления двухконтурной гелиоустановкой с термосифонной циркуляцией была разработана функциональная программа веб-сервера (рис. 3.47).

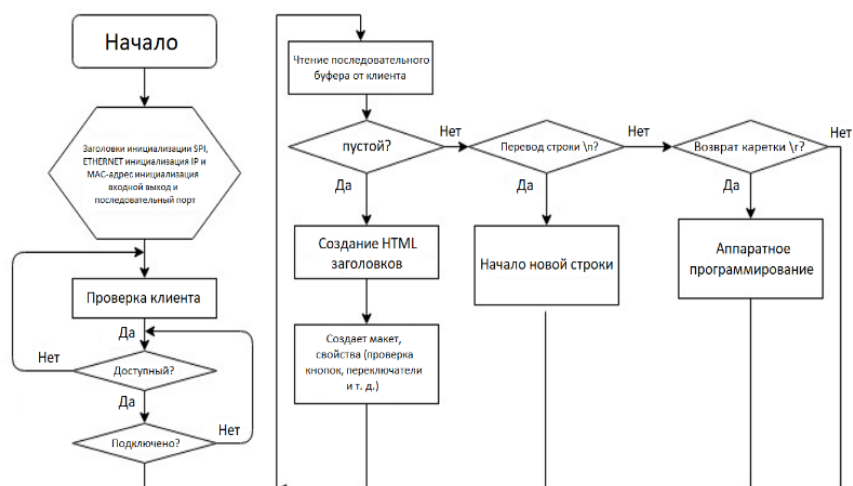


Рисунок 3.47 - Блок-схема веб-сервера для контроллера управления двухконтурной гелиоустановкой с термосифонной циркуляцией

Из рисунка 3.47 следует, что веб-сервер в начале работы инициализирует библиотеки SPI, Ethernet, также активизируются IP- и MAC-адреса. Активизируются входные, выходные и последовательные данные. От инициализации библиотеки данных модуль Check Client соединяется с клиентом. Если есть клиент, тогда соединение устанавливается, если нет клиента, тогда система осуществляет повторный поиск. После соединения открывается новый HTML-файл и создается слой для управления контроллера, который имеет шесть температурных показателей и четыре кнопки управления клапанами, а также другие элементы управления.

На рисунке 3.48 приведена система управления двухконтурной гелиоустановкой с термосифонной циркуляцией. Интерфейс управления программного обеспечения солнечного котроллера состоит из самой системы четырех индикаторов состояния клапанов, шести температурных датчиков для связи с контроллером, кнопкой старт и стоп.

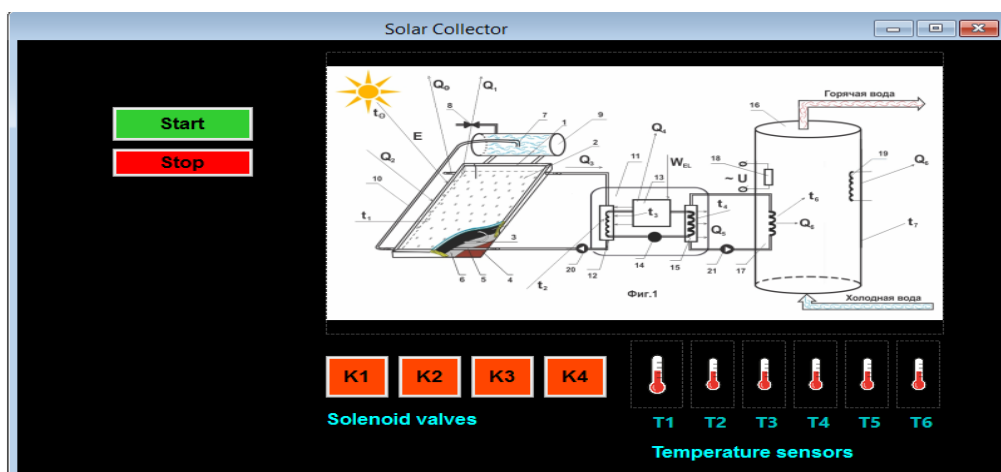


Рисунок 3.48 - Интерфейс управления программного обеспечения солнечного контроллера

В программном обеспечении NET Ethernet\_MAC\_COL LOC являются локальными MAC-адресами для соединения с веб-сервером. NET LED[0] LOC – порты для управления клапанами и температурными датчиками. NET uart1\_sin LOC – порты для обмена данными. NET "CLK\_100MHZ" TNM\_NET = sys\_clk\_pin – скорость соединения Ethernet-модуля с веб-сервером. TIMESPEC TS\_sys\_clk\_pin = PERIOD sys\_clk\_pin 100000 kHz – период NET "RESET" LOC = "B6" | IOSTANDARD = LVCMOS33 | DRIVE = 8 | SLEW = FAST | PULLDOWN = TRUE – порты для перезагрузки связи с веб-сервером.

Работа программного обеспечения основывается для считывания температурных данных через Ethernet и визуально показывается на ЖК-дисплее и веб-сервере. Через веб-сервер можно управлять электромагнитными клапанами. В программном обеспечении имеется дополнительная интеллектуальная программа, которая зависит от температурных данных термосифонной гелиоустановки.

В настоящей работе разработан и исследован новый автоматизированный контроллер управления двухконтурного гелиоколлектора с термосифонной циркуляцией на платформе Mojo v3. Описан принцип работы каждого элемента платформы коллектора. Разработан алгоритм программы, которая активирует библиотеки и константы, в дальнейшем подключается модуль часов в реальном времени, происходит активация температурных датчиков и связи с сервером. Устанавливается связь с сервером, сохраняются xml-файлы в Ethernet-модуле. Считываются температурные данные датчиков и записываются данные о температуре в Ethernet-модуле. Создана блок-схема веб-сервера для контроллера управления двухконтурной гелиоустановкой с термосифонной циркуляцией, которая инициализирует библиотеки SPI, Ethernet, а также активизирует IP- и MAC-адреса. Работа программного обеспечения основывается на считывании температурных данных через Ethernet и визуально показывается на ЖК-дисплее и веб-сервере.

### **3.2.5 Численное моделирование для анализа параметров эффективности нового типа плоского солнечного коллектора**

Для снабжения населения бытовой горячей водой широко используются плоские солнечные коллекторы, солнечное тепловое коллекторное устройство с низкотемпературными солнечными тепловыми системами [86] и обслуживанием солнечных теплоцентралей [87], а также солнечные гибридные тепловые насосы [88]. Плоские солнечные коллекторы с тепловыми характеристиками имеют первостепенное значение с точки зрения повышения энергоэффективности [89, 46]. Как представлено в [46], солнечные тепловые коллекторные устройства состоят из прозрачной крышки, пластины поглотителя, соединенной с трубами, задней теплоизоляции и металлической рамы, трубок на листе [90]. Существуют различные конфигурации листовой трубки на пластинах коллектора, например, паяные изогнутые стояки, используемые Gunjo и др. [91], и алюминиевые гофрированные вертикальные трубки, как у Alvarez и др. [92]. В работе [93] показали экспериментальные результаты с высокой производительностью по сравнению с обычными листовыми и трубными коллекторами. В работе [94]

изготовили плоский солнечный коллектор с полимерными материалами и обнаружили, что эффективность полимерного коллектора на 8–15 % ниже, чем у традиционного металлического коллектора. В работе [95] разработали оптимизацию распределения потока в плоских солнечных тепловых коллекторах со стояком и коллектором.

В работе [96, 97] исследовали другие конструкции солнечных тепловых коллекторных устройств, включающие схемы расположения потоков, крупногабаритные новые коллекторы с тепловыми трубками [98], коллекторы с решетками микротепловых труб [99, 100], коллекторы на основе миниканалов [101], трубки с откачкой, использующие гидроформированные поглотители [102], коллекторы из пористого металлического пенопласта [103]. Описывается недавно разработанная методика расчета и выбора геометрических параметров солнечного коллектора с сифонным эффектом. Также показана зависимость сечения трубы от времени течения для разных значений головки. С увеличением головки сифона время течения жидкости также увеличивается. Это объясняется повышением гидравлического сопротивления сифона, что приводит к уменьшению скорости жидкости. Впервые сформулирована связь, определяющая время истечения жидкости в зависимости от геометрических параметров солнечного коллектора. Разработанная методика позволила установить, что локальное гидравлическое сопротивление и трение играют значительную роль в расходе теплоносителя [104].

В настоящем исследовании разработан фазовый дизайн численного моделирования автоматизированного технологического процесса системы солнечного теплоснабжения с помощью коммерческого программного пакета CFD (Computational Fluid Dynamics) ANSYS FLUENT 19.0 для анализа параметров эффективности нового типа плоского солнечного коллектора.

*Концепция дизайна плоского солнечного коллектора.* Плоский солнечный коллектор был построен и установлен в помещении Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК в г. Алматы (Республика Казахстан, долгота/широта: 77° восточной долготы и 43° северной широты). У установки есть трубы над пластиной поглотителя, которые действуют по принципу термосифона. Наклон плоского коллектора 45°, обращен к югу. Вода поступает в коллектор через впускную трубу из бака для воды и отбирает тепло от пластины поглотителя. Вода перемещается к выпускной трубе из-за изменения плотности между горячей и холодной водой. Основными компонентами системы солнечного теплоснабжения являются:

- абсорберная пластина – это абсорбирующая пластина, покрытая черной краской с высокой поглощающей способностью;
- трубы – металлическая труба черного цвета, которая помещается над пластиной абсорбера и прикрепляется к ней сваркой;
- остекление – стеклянная пластина, имеющая высокий коэффициент пропускания. Позволяет солнечной энергии проходить в направлении поглотителя и уменьшает потери тепла от пластины поглотителя;

– рабочая жидкость – вода используется в качестве рабочей жидкости, которая получает тепло от пластины поглотителя при прохождении через трубку с помощью термосифона;

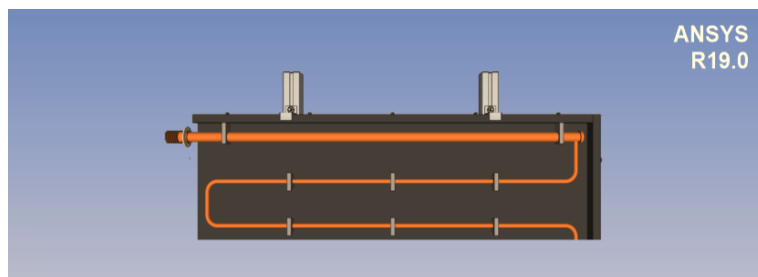
– изоляция – изоляция из стекловолкна помещается за пластину абсорбера, чтобы уменьшить потери тепла с задней стороны;

– корпус – это внешняя коробка, содержащая коллектор и другие компоненты;

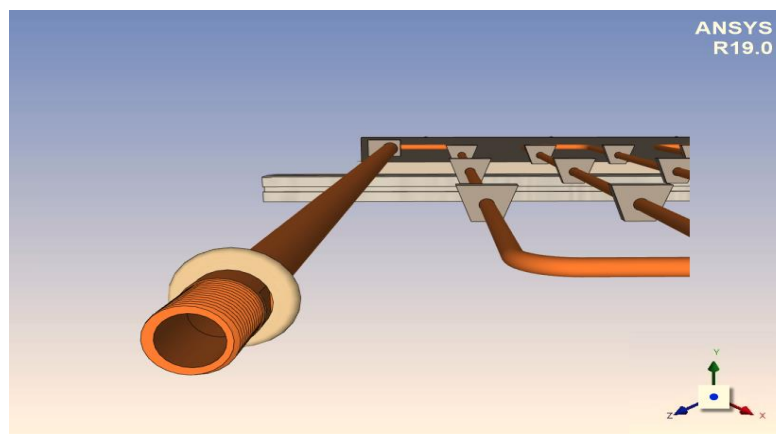
– резервуар для воды – изолированный резервуар с водой, который используется для поддержания потока воды при входе и выходе из коллектора. Изменение плотности воды внутри резервуара вызывает термосифонное действие.



*a*



*б*



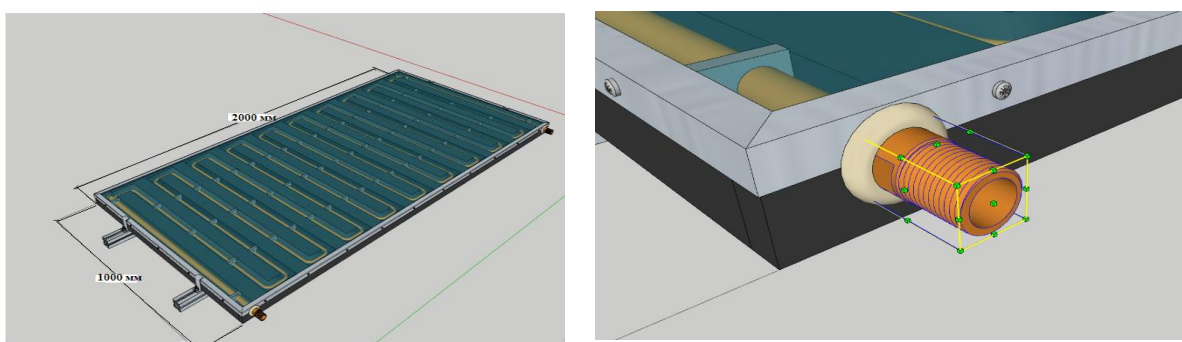
*в*

Рисунок 3.49 - Схематическое изображение коллекторной трубы теплового трубопровода с вакуумной трубкой

*a* – коллекторный патрубок, *б* – вид в разрезе одиночного зажима, *в* – объединение коллекторной трубы со сжимаемой силиконовой трубкой.

Как показано на рисунке 3.49, сжимаемая трубка с внешним диаметром 12 мм (наружный диаметр) / внутренний диаметр 8 мм (внутренний диаметр), была

вставлена в медную коллекторную трубу с внешним диаметром 22 мм / внутренний диаметр 18 мм. Впускной поток коллектора проходит через кольцевой зазор между внешней поверхностью трубки и внутренней поверхностью медной трубки. Поток в кольцевом зазоре разворачивается на конце коллекторной трубы и входит во внутреннюю часть сжимаемой трубки до истечения, что означает, что выпускное отверстие коллектора вернется обратно к месту впуска, но из другого канала потока. Для разделения впускных и выпускных трубок коллектора используется Т-образное соединение для сборки впускных и выпускных труб, поскольку трубка является гибкой и ее легко сгибать в вертикальной ветви для оттока. На рисунке 3.50 *а* представлено изображение прототипа стояка, интегрированного с трубкой. Т-образный переход, соединяющий впуск и выпуск коллектора, показан на рисунке 3.50 *б*.



*а*

*б*

Рисунок 3.50 - Изображение плоского солнечного коллектора  
*а* – в натуральную величину; *б* – увеличенный вид нижнего левого угла с Т-образным узлом для впуска и выпуска коллектора.

### Методы и условия

Одним из основных методов исследования данной работы является модель параметров теплоемкости в плоском солнечном коллекторе. Термическое сопротивление в плоских солнечных коллекторах с одинарным стеклянным покрытием основано на методе с сосредоточенными параметрами теплоемкости.

Для верхней стеклянной крышки плоского солнечного коллектора – *г*:

$$\alpha_g G_g + (h_w + h_{r,g-sky})(T_{amb} - T_g) + h_{c,air-g}(T_{air} - T_g) + h_{r,b-g}(T_b - T_g) = 0, \quad (3.7)$$

где  $\alpha_g$  – коэффициент температуропроводности,  $G_g$  – массовый расход теплоносителя,  $h_w$  – коэффициент конвективной теплоотдачи в окружающую среду,  $h_{r,g-sky}$  – коэффициент конвективной теплоотдачи в ясный день,  $T_{amb}$  – температура окружающей среды,  $T_g$  – температура верхней стеклянной крышки,  $h_{c,air-g}$  – коэффициент теплоотдачи верхней стеклянной крышки коллектора,  $T_{air}$  – температура воздуха,  $h_{r,b-g}$  – коэффициент теплоотдачи пластины поглотителя.

Для закрытого воздушного слоя между пластиной поглотителя и стеклянной крышкой – воздух (air):

$$h_{c,b-air}(T_b - T_{air}) + h_{c,g-air}(T_g - T_{air}) + U_{edge,air-amb} \frac{A_{edge,air}}{A_a} (T_{amb} - T_{air}) = 0, \quad (3.8)$$

где  $U_{edge,air-amb}$  – коэффициент тепловых потерь от краев рамы коллектора к окружающей среде,  $A_{edge,air}$  – площадь плоского солнечного коллектора между закрытым воздушным слоем и окружающей средой.

Для пластины поглотителя –  $b$ :

$$(\tau\alpha)_{en} G_g A_a - h_{c,b-air} A_a (T_b - T_{air}) - h_{r,b-g} A_a (T_b - T_g) + \lambda_{ins} \frac{A_{ins1}}{D_{ins}} (T_b - T_{ins1}) - h_{e,b-f} \cdot A_{inner} (T_b - T_f) = 0, \quad (3.9)$$

где  $\lambda_{ins}$  – коэффициент теплопроводности поглотителя,  $A_{inner}$  – внутренняя площадь плоского солнечного,  $D_{ins}$  – прямая солнечная радиация,  $A_{insi}$  – внутренняя площадь пластины поглотителя

$(\tau\alpha)$  – эффективный коэффициент пропускания-поглощения – рассчитывается по [100]:

$$(\tau\alpha)_{en} = \tau_g \alpha_b \sum_0^{\infty} [(1 - \alpha_b) \cdot \rho_g]^n = \frac{\tau_g \alpha_b}{1 - (1 - \alpha_b) \rho_g}. \quad (3.10)$$

Для рабочей жидкости (воды) –  $f$ :

$$h_{e,b-f} \cdot A_{inner} (T_b - T_f) - \dot{m}_f c_{pf} (T_{f0} - T_{fi}) = 0, \quad (3.11)$$

где  $T_f$  – характеристическая температура воды – может рассматриваться как средняя арифметическая температура  $T_f = (T_{fi} + T_{f0}) / 2$ , означающая, что  $T_{f0} = 2T_f - T_{fi}$  можно использовать для уменьшения неизвестной переменной  $T_{f0}$ ,  $A_{inner}$  – внутренняя площадь плоского солнечного коллектора,  $m_f$  – масса рабочей жидкости(воды),  $c_{pf}$  – удельная теплоемкость жидкости.

$h_{r,b-g}$ , и  $h_{r,b-sky}$  рассчитываются по формуле (63):

$$h_{r,i-j} = \frac{\sigma_b (T_i + T_j)(T_i^2 + T_j^2)}{\frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i A_i} + \frac{1}{X_{ij} A_i + \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i A_j}}}, \quad (3.12)$$

где  $\sigma_b$  – постоянная Больцмана,  $\varepsilon$  – проводимость среды.

Кроме того, коэффициент тепловых потерь от краев рамы коллектора к окружающей среде определяется как

$$U_{edge,air-amb} = \left( \frac{1}{h_w} + \frac{D_{edge}}{\lambda_{ins}} \right)^{-1}, \quad (3.13)$$

где  $D_{edge}$  – рассеянная солнечная радиация,  $\lambda_{ins}$  – коэффициент теплопроводности установки.

#### *Определение параметров плоского солнечного коллектора*

Для нахождения эквивалентного коэффициента теплопередачи проводимости и конвекции от пластины абсорбера к рабочей жидкости был использован коммерческий программный пакет CFD (Computational Fluid Dynamics) ANSYS FLUENT 19.0, чтобы определить физические модели и решить сопряженную теплопередачу между жидкостью и твердым телом абсорбера, медными трубками и рабочей жидкостью (водой).

Угловая эффективная зона работы плоских и вакуумных трубчатых коллекторов составляет около  $45^\circ$  в каждую сторону от перпендикуляра к поверхности, т. е. в сумме около  $90^\circ$ , а общее солнечное излучение на наклонной поверхности было установлено как  $G_g = 750 \text{ Вт/м}^2$ . Скорость наружного ветра была установлена равной  $w = 2,5 \text{ м/с}$ , температура окружающей среды была  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тепловая эффективность коллектора ( $\eta_g$ ), основанная на общей площади коллектора ( $A_g$ ), была затем рассчитана на основе модели сосредоточенной емкости коллектора путем указания входных температур коллектора ( $T_{fi}$ ).

Для расчета тепловой эффективности плоского солнечного коллектора были выбраны различные температуры на входе (10, 30, 50, 70  $^\circ\text{C}$ ) для получения различных нормированных температурных различий [100].

$$\eta_g = \frac{Q_u}{A_g G_g} = \frac{\dot{m}_f c_{pf} (T_{fo} - T_{fi})}{A_g G_g}. \quad (3.14)$$

$$T_m^* = \frac{T_{fi} - T_{amb}}{G_g}. \quad (3.15)$$

Тепловой КПД коллектора определяется, как [100]:

$$\eta_a = \frac{Q_u}{A_a G_g} = \frac{A_g}{A_a} \eta_g. \quad (3.16)$$

Кривая тепловой эффективности коллектора используется для описания стационарных тепловых характеристик коллектора [141]:

$$\eta_a = \frac{A_a}{A_g} \cdot [F_R](\tau\alpha)_{en} \cdot K_{ob}(\theta) - F_R U_L \frac{(T_{fl} - T_{amb})}{G_g}. \quad (3.17)$$

Излучение солнечного луча описывается как [104]



$$K_{ob}(\theta) = 1 - b_0 \cdot \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right), \quad (3.18)$$

где  $b_0$  – безразмерный коэффициент модуля угла падения.

### Результаты и обсуждение

Четыре температурных условия на входе: 10, 30, 50 и 70 °С рассматривались для получения эквивалентных коэффициентов теплопередачи абсорбирующих пластин для прогнозирования тепловых характеристик коллектора.

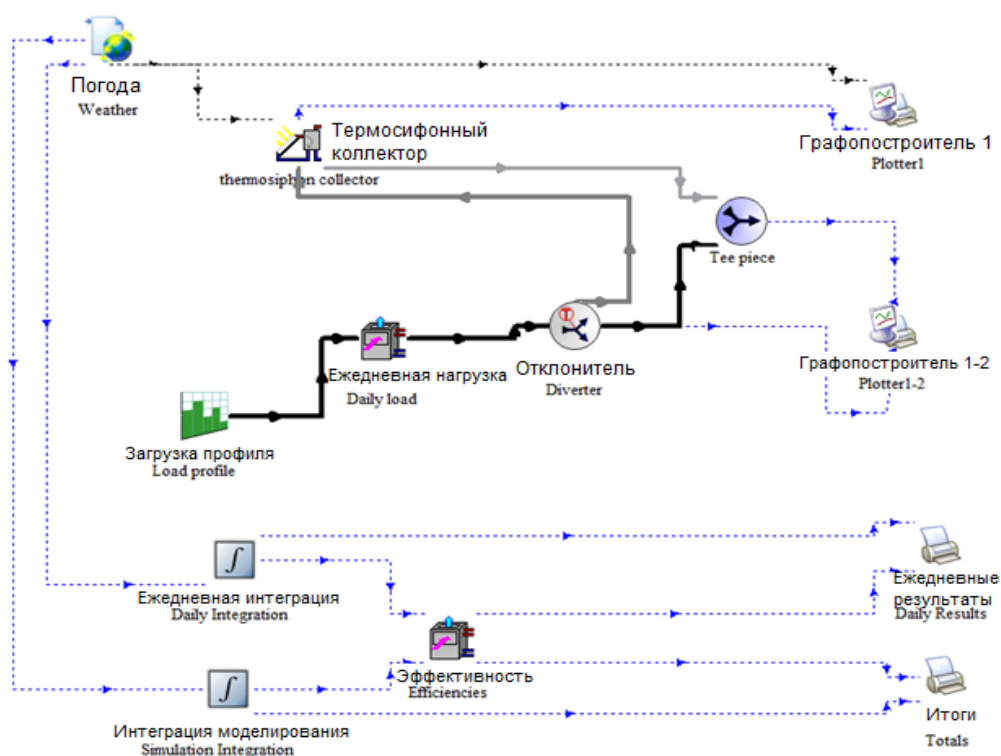


Рисунок 3.51 - Схема TRNSYS-моделируемой термосифонной системы солнечного коллектора

На рисунке 3.51 представлена схема TRNSYS-моделируемой термосифонной системы солнечного коллектора. Чтобы проверить надежность нового типа TRNSYS TYPE 15-3 по сравнению со стандартным TYPE 45a, проводится сопоставление результатов моделирования с соответствующими экспериментальными данными. В частности, исследованы температура рабочей жидкости на входе / выходе из / в коллектор, массовый расход термосифона и полученная полезная тепловая мощность.

Как видно из рисунка 3.52, температура возле змеевидной трубки намного ниже между соседними параллельными частями трубки. Градиент температуры обусловлен эффективностью пластины поглотителя.

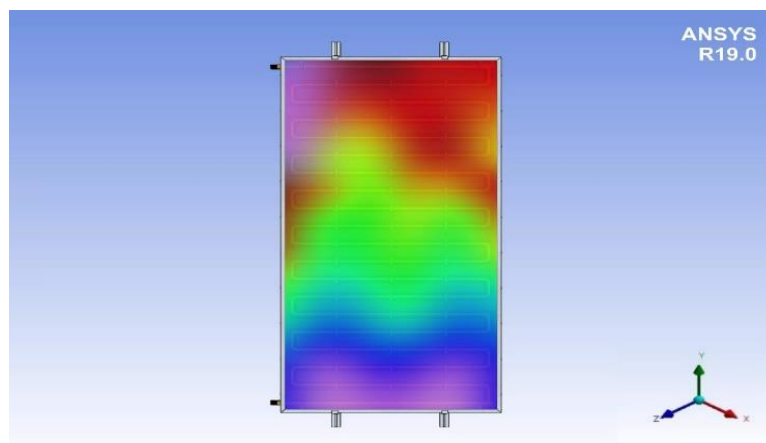


Рисунок 3.52 - Вычислительная область пластины поглотителя змеевидной трубки

На рисунке 3.52 приведен температурный контур пластины-поглотителя коллектора с температурой на входе  $30^{\circ}\text{C}$ . Обнаружено, что максимальная температура пластины-поглотителя коллектора, в отличие от температурного контура типа змеевика с трубкой, при одинаковых условиях на входе намного ниже, чем у первой.

Тепловые испытания плоского солнечного коллектора проводились в течение нескольких ясных дней с 1 января по 1 апреля 2020 г.

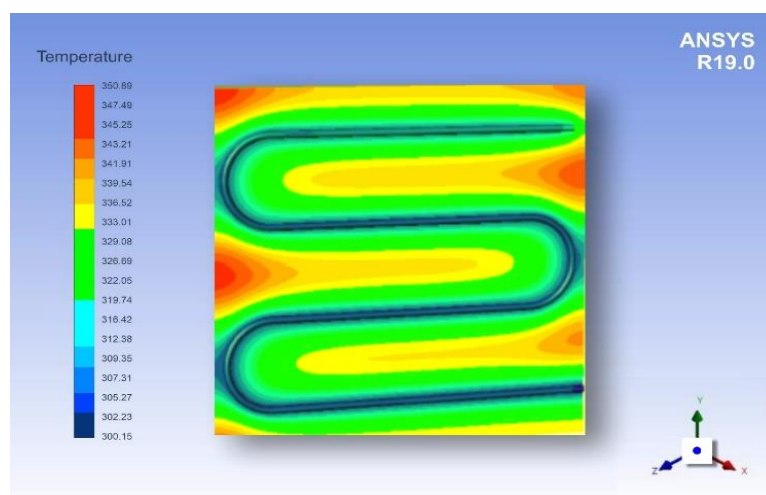


Рисунок 3.53 - Температурные контуры пластин при температуре на входе  $30^{\circ}\text{C}$

На рисунке 3.54 показана зависимость тепловой эффективности от изменения температуры солнечного коллектора с трубкой. Тепловые КПД коллектора змеевидных трубок на 4% выше, чем у других типов антифризных коллекторов, так как змеевидное расположение трубок устраняет возможность протекания жидкости через соединительные отверстия и обеспечивает ее равномерный поток. Также можно сказать, что при спуске жидкости из коллектора зимой могут возникнуть трудности, так как в изогнутых трубках нередко остаются излишки воды.

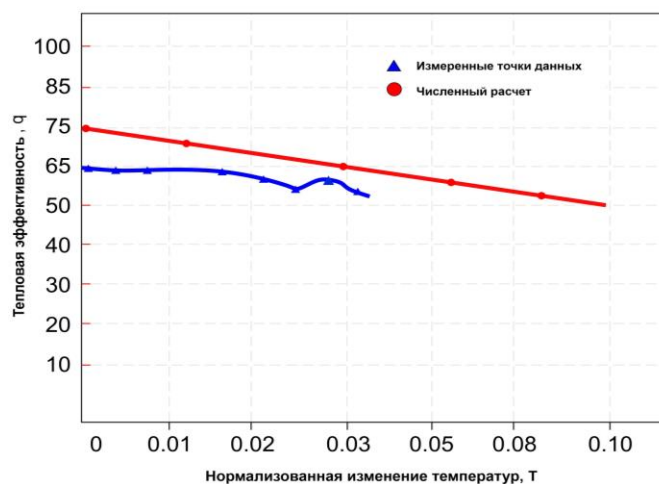


Рисунок 3.54 - Зависимость тепловой эффективности от изменения температуры

На рисунке 3.55 показана зависимость солнечной радиации от времени. При проведении экспериментальных испытаний для солнечного плоского коллектора временные данные будут выше при падающем солнечном излучении, чем при температуре окружающей среды.

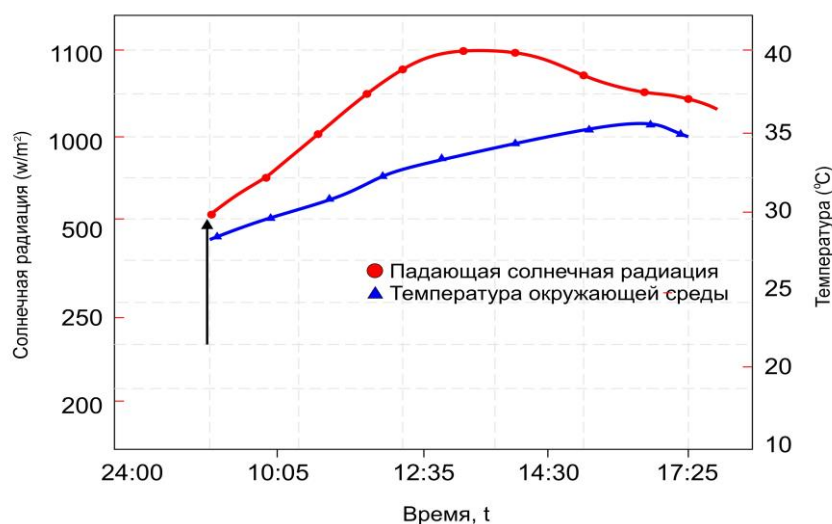


Рисунок 3.55 - Зависимость солнечной радиации от времени на 10 января 2020 г.

На рисунке 3.56 показана зависимость тепловой эффективности при скорости течения потока 1,7 л/мин. При численном моделировании зависимость тепловой эффективности плоских солнечных коллекторов выше, чем при измеренных экспериментальных работах. Как видно из графика, при исследовании численным моделированием тепловое КПД плоского солнечного коллектора на 7–10 % выше, чем при экспериментальных данных.

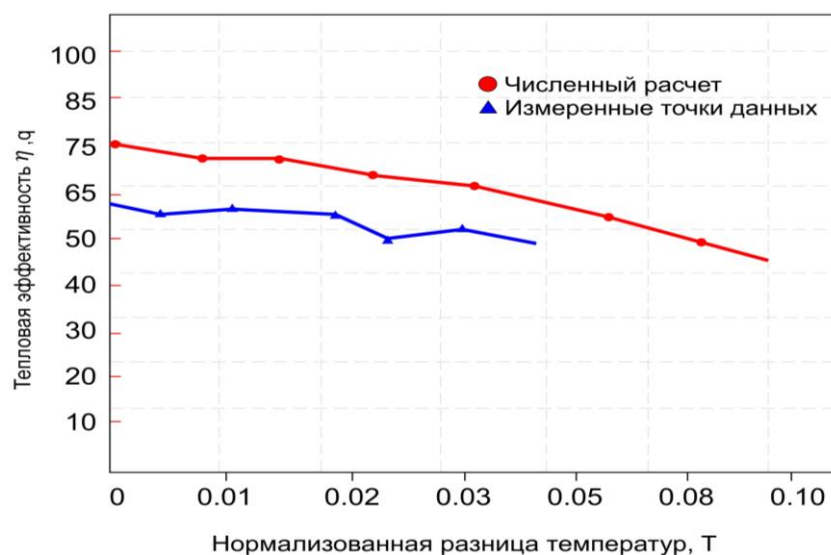


Рисунок 3.56 - Зависимость тепловой эффективности плоских солнечных коллекторов при скорости потока 1,7 л/мин ( $\pm 0,1$  л/мин)

### 3.2.6 Разработка систем сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов

Возобновляемые источники энергии стабильны и способны удовлетворить текущие и будущие прогнозируемые глобальные потребности в энергии без какого-либо особого воздействия на окружающую среду. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, ветер, гидроэнергетика и биогаз, являются подходящими альтернативами. Лучшая альтернатива для удовлетворения растущего спроса на энергию – солнечная энергия. Преобразование солнечного излучения в тепло является одним из самых выгодных и непосредственных способов использования солнечных коллекторов. Однако возникают вопросы в связи с эффективностью и целесообразностью предложенных систем.

В работах [105–107] разработали электронное оборудование для управления солнечной электростанцией путем определения физических параметров и управления исполнительными системами для открытия / закрытия электрических клапанов и включения / отключения вспомогательных систем отопления. Кроме того, блок управления может управлять набором визуальных / звуковых сигналов обратной связи для сообщения о неисправностях и запроса на обслуживание.

Разработанная система мониторинга доступна через персональный компьютер с помощью кабеля RS232 и с мобильных устройств на базе Android, подключенных к сети Интернет. В работе [108] исследователи представили интеллектуальную систему управления энергопотреблением дома на основе устройства ZigBee, а также с модулей программируемого логического контроллера для мониторинга выработки возобновляемой энергии. М. Pasamontes и др. [109] разработали динамическую гибридную модель для солнечных энергетических установок. С целью максимизации эффективности использования

и выработки энергии, программируемые системы мониторинга объектов производства энергии приобретают все большее значение в случае сбоя [110].

В работе [111] исследователи обнародовали подход, который заключается в проектировании и разработке надежных, эффективных, гибких, экономичных в реальном времени и реалистичных сетей датчиков для систем умного дома. В статье [112] представлены некоторые из последних тенденций в области разработки многопоточных преобразователей постоянного тока. Изучены и проанализированы методы синтеза многоходовых преобразователей, их принципы работы, достоинства и недостатки.

В работе [113] разработана и исследована система умного дома с встроенными датчиками, контролируемые с помощью GSM. В работе [114] разработана система записи, визуализации и управления интеллектуальной домашней системой, которая использует солнечные и ветровые энергетические ресурсы, а также регистрирует и управляет энергопотреблением каждого устройства. В работе [115] исследовали предложили интеллектуальную систему для энергосистемы удаленного мониторинга, контроля и планирования источников энергии с помощью мобильных устройств на базе Android.

Ряд исследований подтвердил влияние скорости компрессора на выходе [116]. В работе [117] рассматривается изучение конвективного теплообмена в солнечных коллекторах. Получены зависимости критерия Нуссельта в круглых и плоских трубах солнечного коллектора. В работе [118] рассматривается графоаналитический метод определения энергетических и оптических характеристик плоского солнечного коллектора. Рассчитана суммарная солнечная радиация наклона солнечного коллектора. Коэффициент оптических характеристик составил 66 %. Это подтверждает правильность выбора параметров солнечного коллектора.

В [119] был разработан контроллер управления солнечной системой, способный контролировать ее текущие температуры. С этой целью в предложенной системе измерения производятся с помощью шести цифровых датчиков (DS18B20 Dallas), которые используют возможность 16 проводов передачи данных. Используя датчики Далласа и соответствующее программное обеспечение, можно контролировать уровень температуры и количества теплоты. Использование четырех цифровых датчиков значительно повышает эффективность управления системой и увеличивает скорость обработки данных. Рассмотрены возможности конфигурирования датчиков для платформы Arduino, а также схема управления гелиоколлектором.

*Прототип модульного контроллера для солнечной тепловой системы.* Контроллеры, предназначенные для управления солнечными тепловыми установками, должны характеризоваться модульной структурой. Это позволяет обновить функциональность контроллера с дальнейшим развитием установки. В этом пункте представлен пример прототипа модульного солнечного контроллера, основанного на свободно программируемой платформе.

Для платформы мониторинга тепловой системы управления солнечной установки, основанной на использовании платформы ESP-WROOM-32, описан

принцип работы каждого элемента, из которого будет выполнен контроллер сетевого управления и мониторинга.

Встроенное регулирование напряжения может выдержать 4,8–12 В. Цифровая платформа состоит из микроконтроллера (ATmega32U4), используемого для настройки FPGA, USB-связи и считывания аналоговых выводов. В систему встроен легко перепрограммируемый совместимый загрузчик ESP-WROOM-32 и микроконтроллер.

На рисунке 3.57 показан цифровой измеритель температуры DS18B20, особенностью которого является разрешение 9–12 разрядов и функцию тревожного сигнала контроля над температурой цифрового измерителя температуры. Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика. DS18B20 обменивается данными с микроконтроллером по однопроводной линии связи, используя протокол интерфейса 1-Wire. Питание датчика может получать непосредственно от линии данных, без использования внешнего источника. В этом режиме питание датчика происходит от энергии, запасенной емкости.

DS18B20 – это цифровой измеритель температуры с разрешением преобразования 9–12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой. Параметры контроля могут быть заданы пользователем и сохранены в энергонезависимой памяти датчика.

Диапазон измерения температуры составляет от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для диапазона от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  погрешность измерения не превышает  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

У каждой микросхемы DS18B20 есть уникальный серийный код длиной 64 разряда, который позволяет нескольким датчикам подключаться на одну общую линию связи. Эта возможность означает, что через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, распределенными на значительном расстоянии. Режим крайне удобен для использования в системах экологического контроля, мониторинга температуры в зданиях, узлах оборудования.

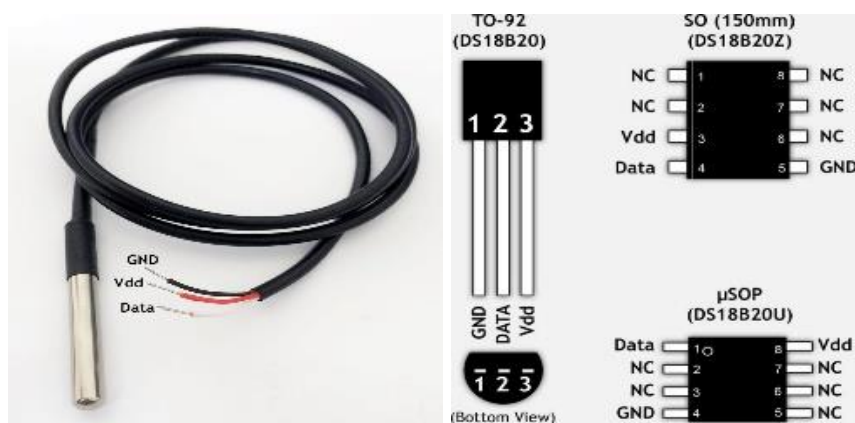


Рисунок 3.57 - Цифровой измеритель температуры DS18B20

Крошечный модуль RTC для Arduino содержит часы реального времени DS1307 IC – это маломощные, полные двоично-десятичные часы с календарем

(BCD) плюс – 56 байт SRAM. Часы и календарь предоставляют информацию о секундах, минутах, часах, дне, дате, месяце и годе. Это один из самых простых в использовании RTCs, совместимый с Arduino и другими библиотеками. Он позволяет использовать команды I2C для установки и восстановления времени и даты. На рисунке 3.58 показаны часы реального времени – Real Time Clock Модуль с батареей (DS1307).

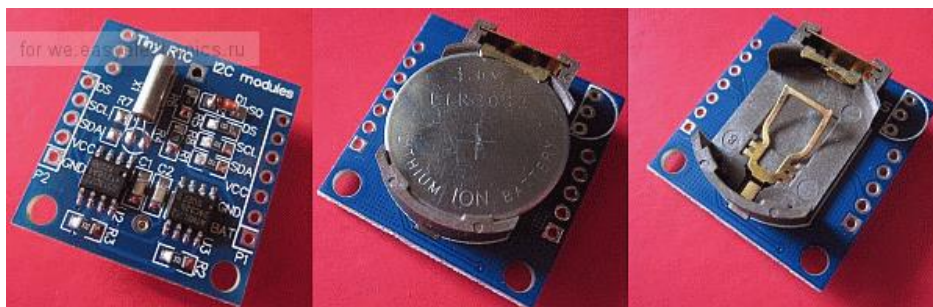


Рисунок 3.58 - Часы реального времени – Real Time Clock Модуль с батареей (DS1307)

Наряду с часами реального времени DS1307-модуль также имеет чип Atmel 24C32 EEPROM, который удобен для хранения данных. Можно не беспокоиться о потере питания. На плате также есть место для пайки вашего собственного датчика температуры DS18B20.

Твердотельные реле серии S108T02 и S208t02 (SSR) представляют собой интеграцию инфракрасного излучающего диода (IRED), детектора «Фототриака» и основного выходного симистора. Эти устройства идеально подходят для управления высоковольтными нагрузками переменного тока с твердотельной надежностью при обеспечении изоляции 3,0 кВ (Viso(rms)) от входа до выхода. На рисунке 3.59 изображено твердотельное реле серии S108T02.

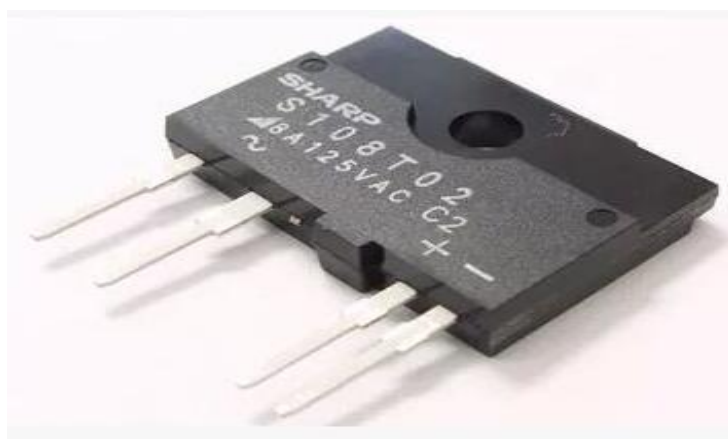


Рисунок 3.59 - Твердотельное реле серии S108T02

ESP-WROOM-32 содержит двухъядерный 32-разрядный микропроцессор Tensilica Xtensa ® LX6. Этот процессор похож на ESP8266, но имеет два ядра (может управляться индивидуально), работает на регулируемой тактовой частоте

от 80 до 240 МГц и выполняет до 600 ДМИПС (Dhrystone Million инструкций в секунду) (рис. 3.60).

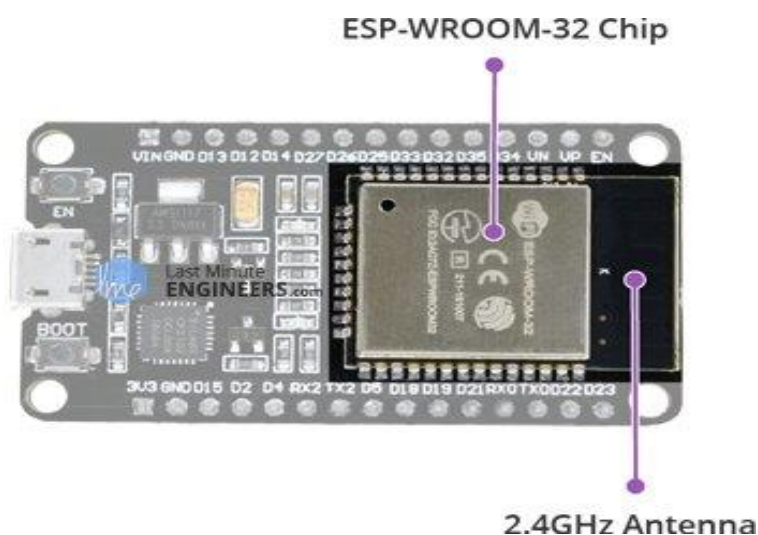


Рисунок 3.60 - ESP-WROOM-32, содержащий двухъядерный 32-разрядный микропроцессор

В этом процессоре также есть 448 КБ ROM, 520 КБ SRAM и 4 МБ флэш-памяти (для хранения программ и данных) – как раз достаточно, чтобы справиться с большими строками, которые составляют веб-страницы, данные JSON/XML.

ESP32 интегрирует приемопередатчик 802.11 b/g/n HT40 Wi-Fi, поэтому он может не только подключаться к сети Wi-Fi и взаимодействовать с Интернетом, но и создавать собственную Сеть, позволяя другим устройствам подключаться непосредственно к нему. ESP32 также поддерживает Wi-Fi Direct, что является хорошим вариантом для однорангового соединения без необходимости в точке доступа. Wi-Fi Direct проще в настройке, а скорость передачи данных намного лучше, чем Bluetooth. Чип также имеет двухрежимные возможности Bluetooth, т. е. он поддерживает как Bluetooth 4.0 (BLE/Bluetooth Smart), так и Bluetooth Classic (BT), что делает его еще более универсальным.

Поскольку диапазон рабочих напряжений ESP32 составляет от 2,2 до 3,6 В, плата поставляется с регулятором напряжения LDO, чтобы поддерживать постоянное напряжение на уровне 3,3 В. Она может надежно питать до 600 мА, что должно быть более чем достаточно, когда ESP32 тянет до 250 мА во время радиочастотной передачи. Выход регулятора также разбивается на одну из сторон платы и помечается как 3V3. Этот штырь можно использовать для подачи питания на внешние компоненты.

В настоящем исследовании шесть цифровых температурных датчиков (Dallas DS18B20) 2, 3, 4, 5, 6, 7 регистрируют температуры плоского солнечного коллектора с термосифоном. Датчики контролируются программируемой логической интегральной схемой 1 ESP-WROOM-32, который содержит двухъядерный 32-разрядный микропроцессор. Каждые 5 с температурные данные и состояния клапанов 10 записываются и отправляются на ETHERNET modul 9. Часы реального времени (RTC) 8 записывают дату и время измерений



температурных данных, отправляя их на программируемую логическую интегральную схему ESP-WROOM-32. Шесть датчиков подключены к плате ESP-WROOM-32 с шестью электрическими проводами, запрограммированные на языке VHDL, что после обработки данных температуры, даты и время, полученные от RTC 8, соответственно, сохраняют их в XML.

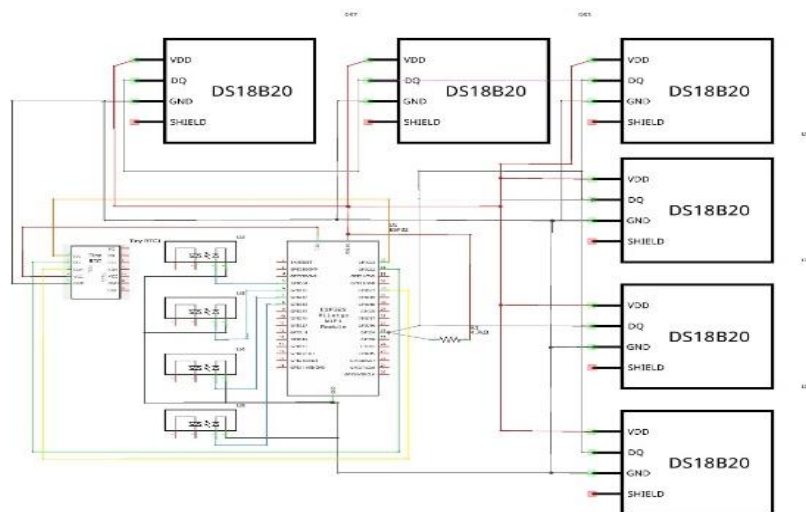


Рисунок 3.61 - Принципиальная схема соединения ESP-WROOM-32 с датчиками системы управления контроллером

На рисунке 3.61 показана принципиальная схема соединения ESP-WROOM-32 с датчиками системы управления контроллером.

Язык XML облегчает обработку этих данных путем автоматической или ручной интерпретации программ электронных таблиц данных. Температурные данные, дата, время и состояния клапанов системы работы установки отображаются на дисплее 11. На рисунках 3.56, 3.57 показаны принципиальная схема контроллера на платформе ESP-WROOM-32 и контроллер управления гелиосистемой.

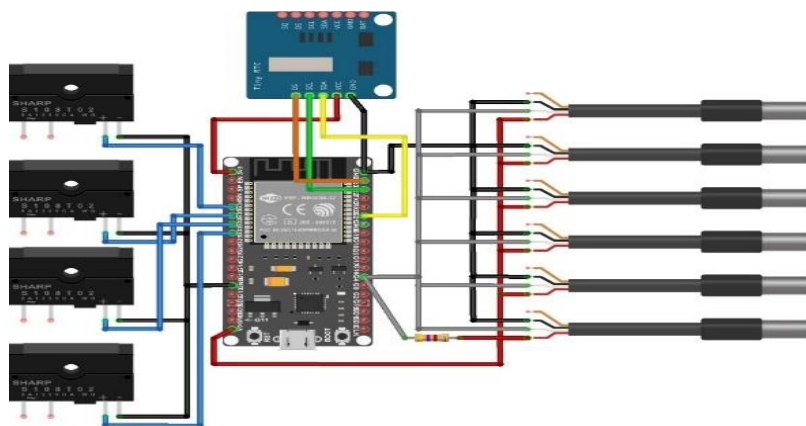


Рисунок 3.62 - Принципиальная схема контроллера на платформе ESP-WROOM-32



Рисунок 3.63 - Контроллер управления гелиосистемой

В таблице 3.5 показаны технические характеристики контроллера управления гелиосистемой.

Таблица 3.5. – Технические характеристики контроллера управления гелиосистемой

Размеры, мм	120×120×23
Питание, В	AC110 / AC220
Потребление, Вт	< 3
Точность измерения температуры, °С	-/+2
Диапазон измерения температуры коллектора, °С	-10... 220
Диапазон измерения температуры бака, °С	0...+110
Максимальная мощность насоса, Вт	3 шт < 300
Входы	1 шт pt1000, 2 шт ntc10k
Выходы (реле для насоса, клапана, ТЭНа)	10 А
Рабочие температуры, °С	-10 ...+50
Класс водозащиты	IP40

На рисунке 3.64 показан контроллер со снятой крышкой. Видны основные компоненты схемы, подводящие провода и блок питания.

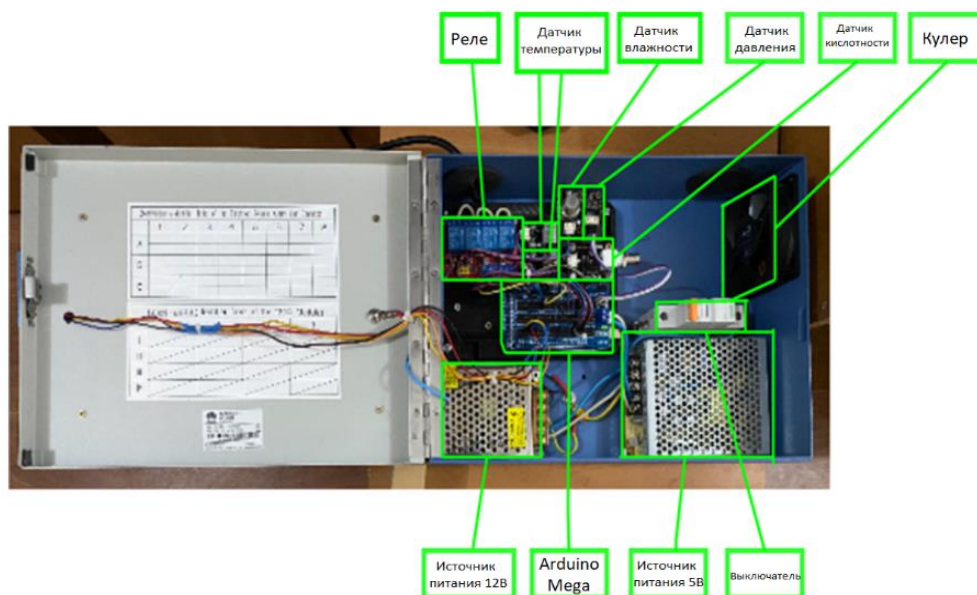


Рисунок 3.64 - Фото контроллера со снятой крышкой

Контроллер управления имеет программируемую логическую интегральную схему 1 STM32, которая подключена к шести цифровым датчикам (датчик температуры 2, датчик расхода воды 3, датчик давления 4, датчик температуры охлаждающей жидкости в баке нагревателя 5, датчик температуры охлаждающей жидкости в теплообменнике 6 и датчик температуры наружного воздуха 7), а также подключается к встроенному программному измерительному прибору в режиме реального времени 8. Встроенное программное обеспечение для измерения в реальном времени подключено к модулю ESP32 9 и четырем клапанам 10. Работа всей системы отображается на дисплее 11.

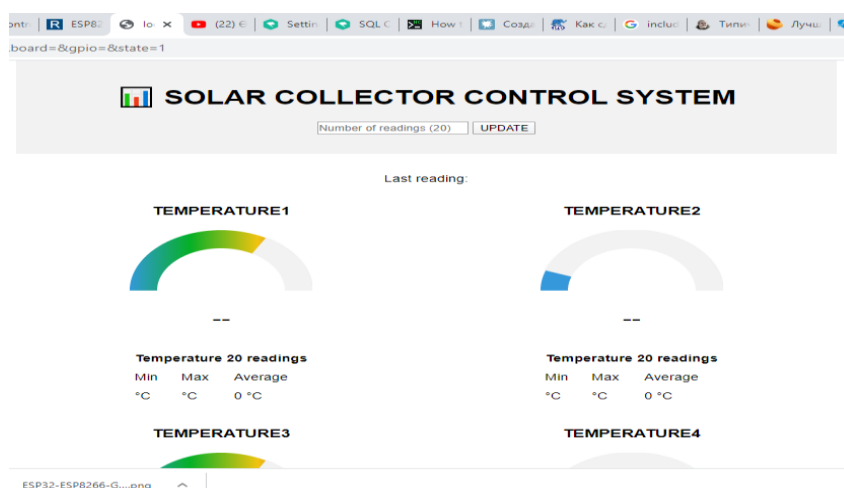


Рисунок 3.65 - Система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов

На рисунке 3.65 изображена система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов. В контроллере управления солнечным

коллектором (рис. 3.63) имеется процессор ESP 32-1, который инициализирует и начинает сбор данных температуры солнечного коллектора 2 и состояния реле клапанов в контроллере управления 3. После вышеуказанного процесса процессор ESP 32 начинает соединение с Wi-Fi и подключается к Интернету 4. Затем он присоединяется к домену с протоколом передачи гипертекста (HTTP) 5. Отправляются данные о температурах и состоянии реле клапанов контроллера управления в базу данных 6. С базы данных 6 извлекаются данные с помощью PHP script. Извлеченные данные сохраняются в базе данных 8. Сохраненные данные интерпретируются в веб-интерфейсе для пользователей 9. Веб-интерфейс работает для мобильного варианта и персонального компьютера.

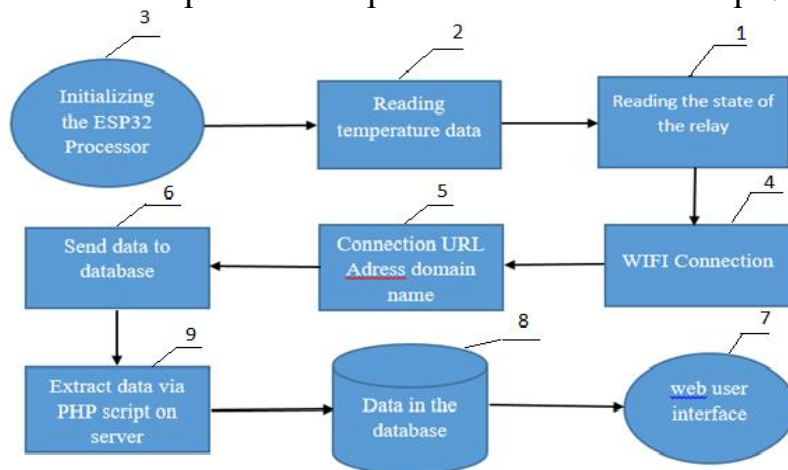


Рисунок 3.66 - Схема дистанционного мониторинга солнечного коллектора

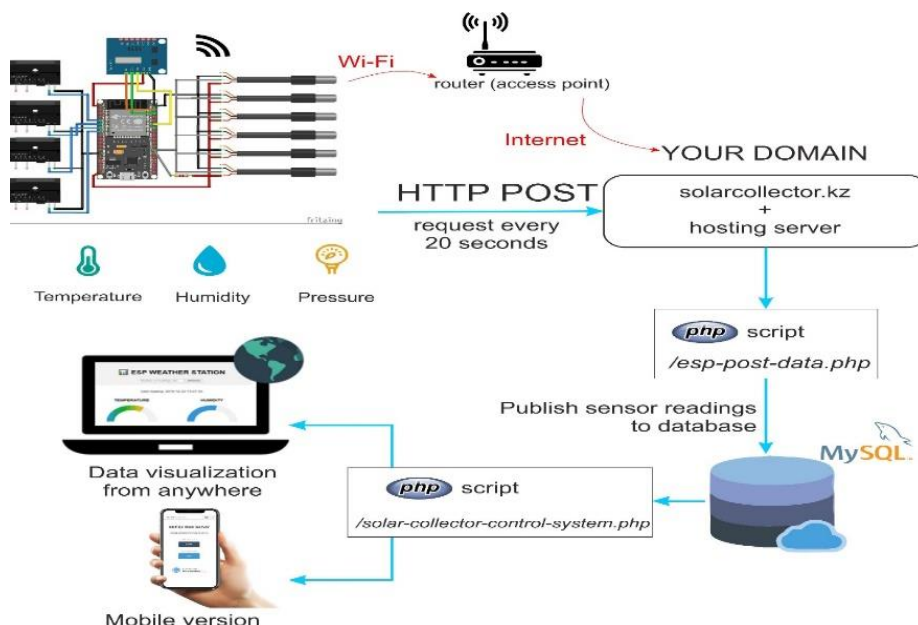


Рисунок 3.67 - Стационарная система дистанционного мониторинга солнечного коллектора

На рисунке 3.67 показана стационарная система дистанционного мониторинга солнечного коллектора. Связь между клиентом и сервером осуществляется с помощью специального протокола передачи гипертекста (HTTP). В этом протоколе клиент инициирует связь, делая запрос на

определенную веб-страницу с помощью HTTP. Одна из самых значимых особенностей ESP 32 заключается в том, что он не только подключается к существующей сети Wi-Fi и действует как веб-сервер, но и может настроить собственную сеть, позволяя другим устройствам подключаться непосредственно к нему и получать доступ к веб-страницам. Это возможно потому, что ESP32 может работать в трех различных режимах: режим станции, режим мягкой точки доступа и оба одновременно. Это обеспечивает возможность построения сетчатых сетей.

Представлена разработка системы сетевого сбора, хранения и обработки информации, получаемых от солнечных коллекторов. Основной целью создания надежной системы для сбора данных солнечной энергии в реальном времени является оптимизация работы системы солнечного тепло- и горячего водоснабжения. Проведенное исследование показывает эффективность предложенных аппаратных и программных результатов для реального случая реализации проекта в промышленных и бытовых помещениях в течение длительного периода времени.

Система дистанционного мониторинга на базе выбранных солнечных коллекторов имеет разумную структуру, функциональна и может эффективно осуществлять автоматизированное управление как отдельным гелиоколлектором, так и их сетью. Система отображает интерфейс мониторинга на месте, базу данных, динамические данные, исторические данные, динамическую кривую и информацию слежения за солнечным коллектором в режиме реального времени. Она позволяет дистанционно регулировать состояние гелиоколлектора и устанавливать его рабочие параметры.

### **3.2.7 Разработка и исследование системы автоматизации двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией**

Устойчивое развитие, увеличение спроса на энергию и сокращение использования ископаемых источников энергии являются тремя наиболее важными факторами, которые сделали возобновляемую энергетику первой изученной, оцененной и продвигаемой наукой в мире в наши дни. Повсеместно используются солнечные, ветровые, гидро-и биомассовые и т. д. ресурсы, люди начали заботиться об экологии планеты и пришли к осознанному потреблению.

Разработка технологических процессов при эксплуатации системы автоматизации двух контурных гелиоустановок с термосифонной циркуляцией имеет сложный характер. Согласно экспериментальным и теоретическим результатам процесс изменения количества теплоты в баках-аккумуляторах, подводимой от плоских солнечных коллекторов, также весьма непросто. Температура воды в баке-аккумуляторе поддерживает баланс между количеством теплоты, которая поступает от солнечных коллекторов, а также тепловую производительность теплового насоса с помощью автоматической системы регулирования теплового насоса. Тепловой баланс между поступлением и расходом тепловой энергии контролируется по расходу воды, подводимой из линии холодного водоснабжения в систему солнечного теплоснабжения. Этот

баланс также поддерживается с помощью автоматической системы регулирования теплового насоса.

Для увеличения эффективности эксплуатации системы солнечного теплоснабжения применяют автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП). Для того чтобы решить эту задачу, придерживаются следующих этапов:

- 1) устранение аварийных ситуаций и оценка состояния отдельных узлов системы солнечного теплоснабжения по показаниям датчиков;
- 2) обеспечение автономной работы установки.

С помощью этих двух этапов данный технологический процесс позволяет снизить эксплуатационные затраты и уменьшить влияние человеческого фактора на надежность работы системы солнечного теплоснабжения.

Одним из основных способов автоматизации системы солнечного теплоснабжения является применение специализированных программно-аппаратных комплексов, которые позволили решить следующие задачи:

- 1) получить данные о состоянии системы и изменении технологических процессов на контроллере управления;
- 2) выполнить обработку данных об изменении технологических параметров системы солнечного теплоснабжения в реальном времени;
- 3) усовершенствовать алгоритмы для управления технологическими процессами в системе солнечного теплоснабжения;
- 4) контролировать в режиме реального времени техническое состояние установки.

Для реализации разработки и исследования системы автоматизации двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией применили Master SCADA. На рисунке 3.68 показано дисперчерское управление двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией и объекты, переменные для двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в Master SCADA.

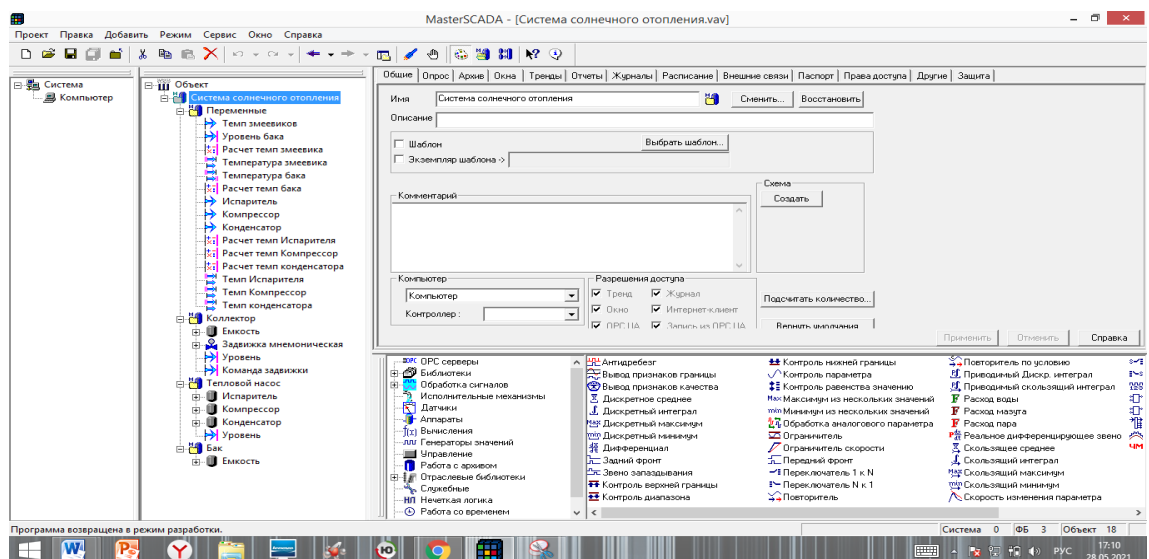


Рисунок 3.68 - Программа Master SCADA

На рисунке 3.69 отображена система автоматизации двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в Master SCADA. Цель этого проекта – нагреть воду в баке с помощью солнечной энергии. Основные элементы этого проекта: плоский солнечный коллектор, тепловой насос, бак-аккумулятор. Остановимся на принципе работы системы. Сначала рассмотрим плоский солнечный коллектор. Внутри плоского солнечного коллектора находятся змеевики.

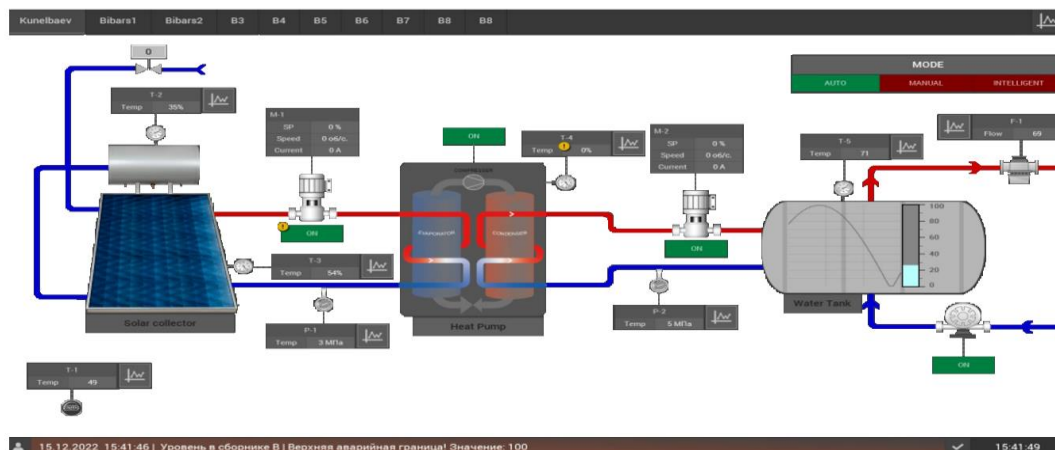
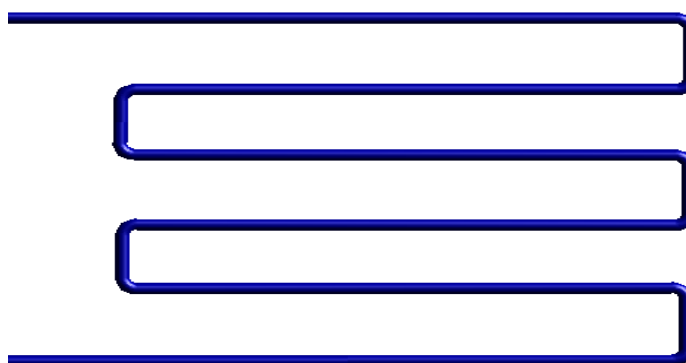


Рисунок 3.69 - Система автоматизации двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в Master SCADA

На рисунке 3.70 показан змеевик плоского солнечного коллектора в Master SCADA. Солнечная энергия нагревает воду в змеевиках. Теплая вода в змеевиках заменяется через клапан на холодную, а нагретая вода накапливается в маленьком баке. После этого нагретая вода поступает в тепловой насос. После теплового насоса на коллектор приходит уже холодная вода.



Температура змеевика 50°C

Рисунок 3.71 - Змеевик плоского солнечного коллектора в Master SCADA

На рисунке 3.72 показано, как тепловой насос берет нагретую воду из змеевиков плоского солнечного коллектора.

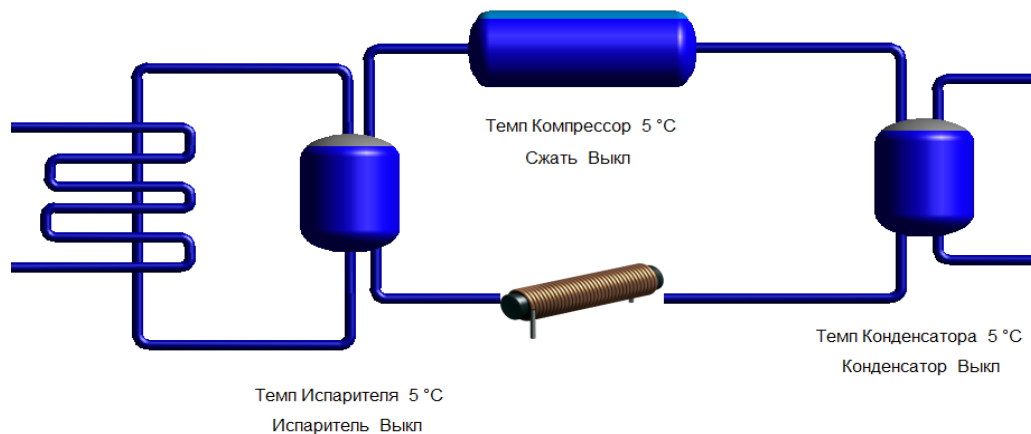


Рисунок 3.72 - Схема теплового насоса в Master SCADA

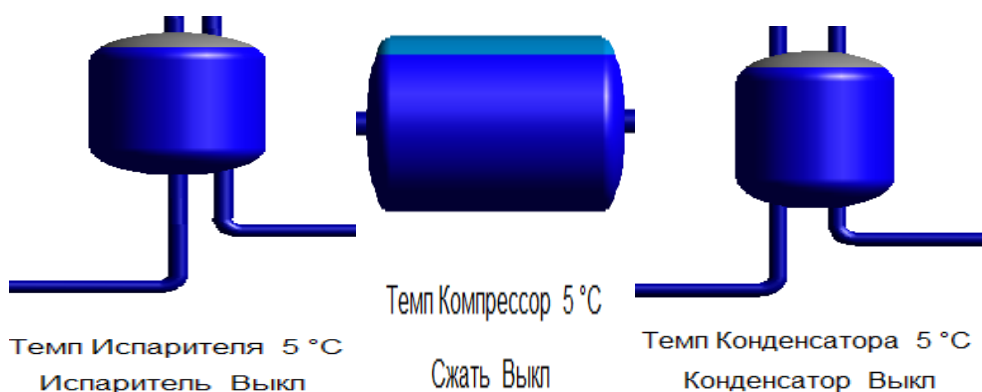


Рисунок 3.73 - Схема испарителя, конденсатора и компрессора теплового насоса в Master SCADA

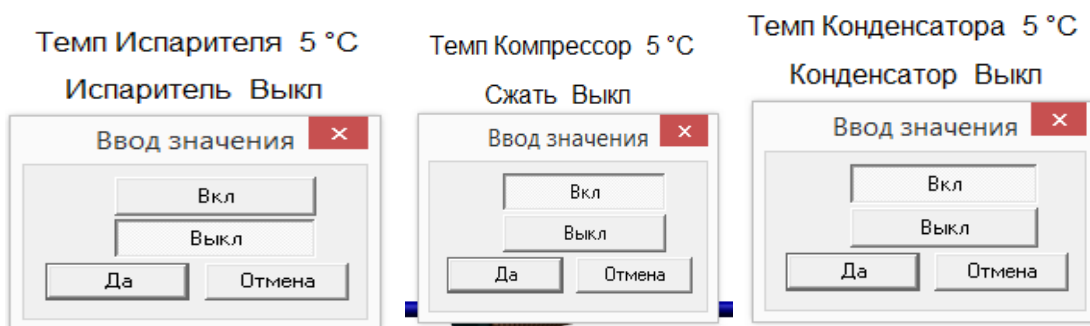


Рисунок 3.74 - Схема включения и выключения испарителя, конденсатора и компрессора теплового насоса в Master SCADA



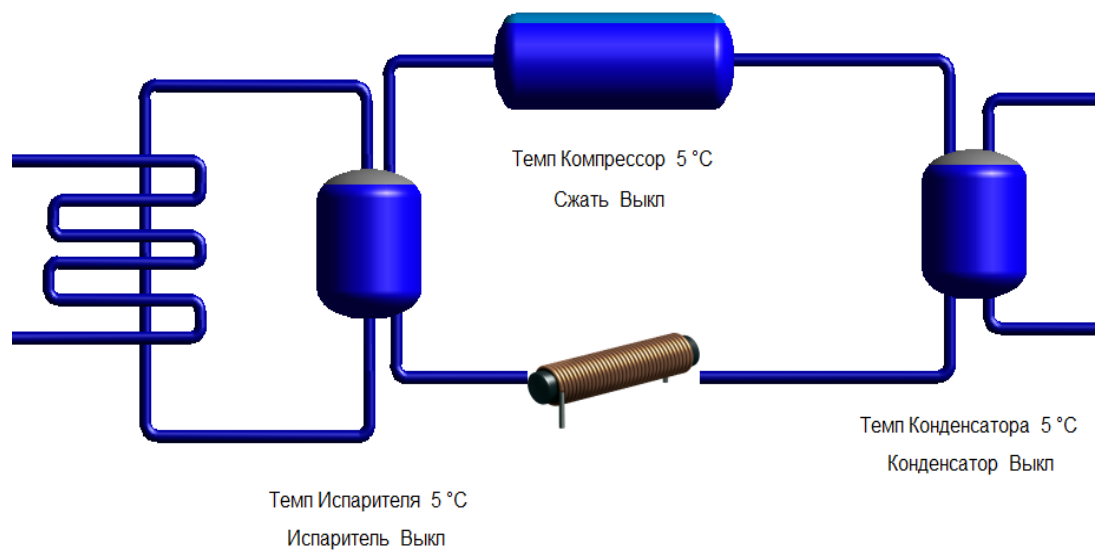


Рисунок 3.75 - Мнемосхема до включения испарителя, конденсатора и компрессора теплового насоса в Master SCADA

После включения испарителя в тепловом насосе уменьшается температура в коллекторе, а именно в змеевиках, и все тепло накапливается в испарителе (рис. 3.76).

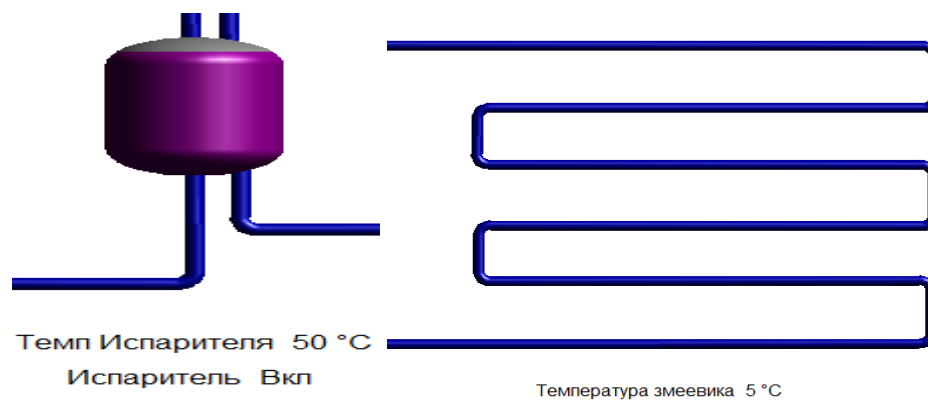


Рисунок 3.76 - Накапливание тепла в испарителе

После такой работы теплового насоса наша мнемосхема меняется (рис. 3.77):

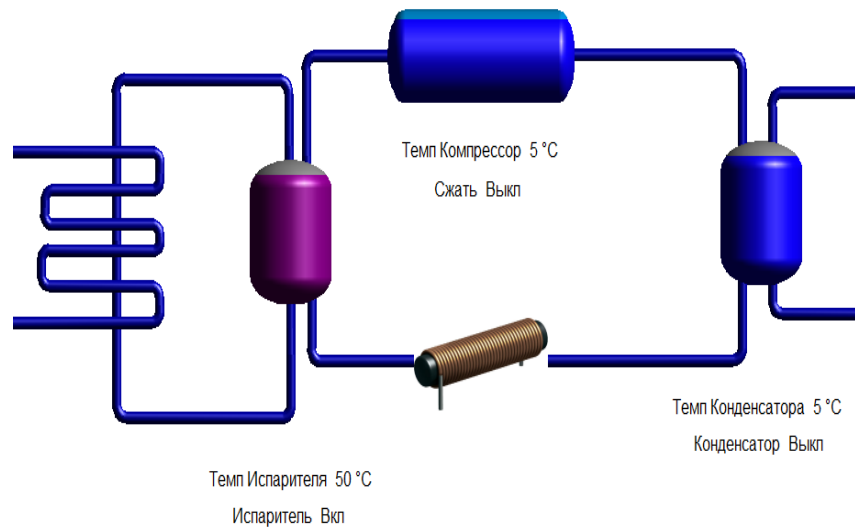


Рисунок 3.78 - Мнемосхема после включения испарителя теплового насоса в Master SCADA

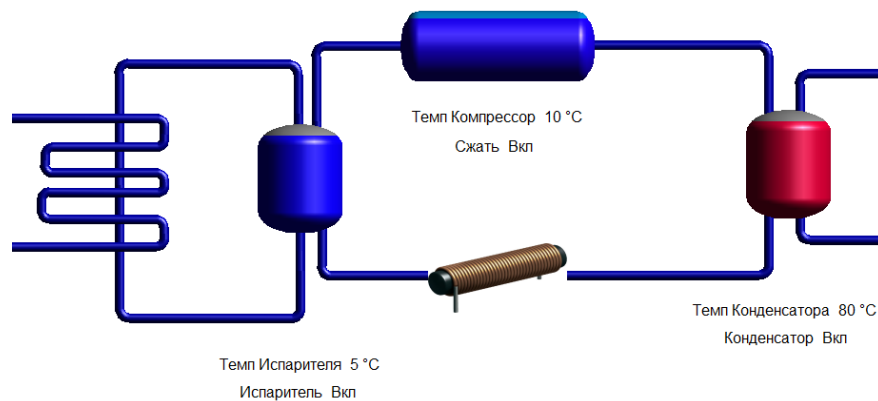


Рисунок 3.79 - Мнемосхема после включения кнденсатор теплового насоса в Master SCADA

На рисунке 3.80 показана мнемосхема после включения кнденсатор теплового насоса в Master SCADA. Подробно рассмотрели принцип работы теплового насоса. Именно так проходит цикл солнечного отопления через тепловой насос, после чего можно обнаружить, как нагрелся бак-аккумулятор, расположенный в помещении. На рисунке 3.72 показана конечная мнемосхема системы автоматизации двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в Master SCADA

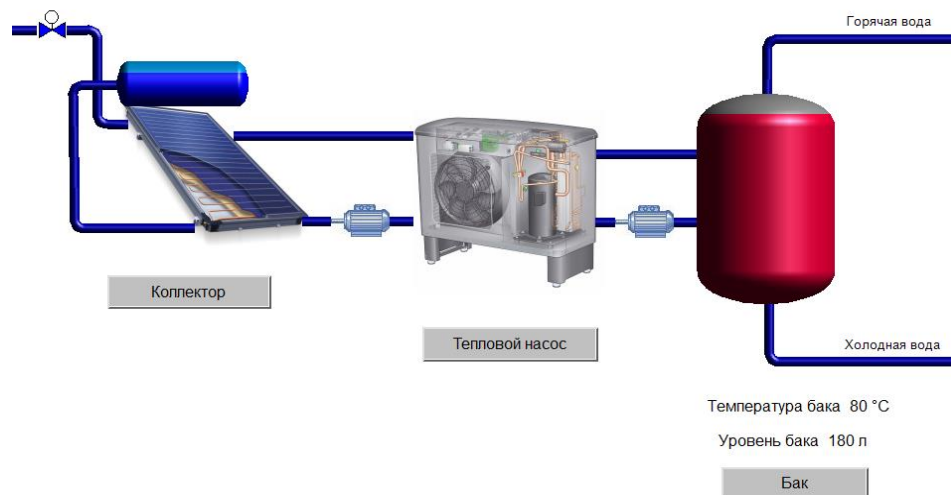


Рисунок 3.81 - Конечная мнемосхема системы автоматизации двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в Master SCADA

Получая данные с программируемого логического контроллера (ПЛК), SCADA-система способна оценивать технологические параметры процессов, происходящих в различных узлах установки, а именно:

- получает данные о температуре и об объеме циркуляции теплоносителя в каждом контуре двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией;
- рассчитывает количество переданной тепловой энергии в различных контурах циркуляции, основываясь на показаниях датчиков температуры и расходомеров;
- получает информацию о коэффициенте производительности теплового насоса;
- оценивает КПД двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией.

В целях повышения надежности в подобной установке предусмотрены резервные циркуляционные насосы. Для увеличения рабочего ресурса циркуляционных насосов контуров предусмотрено поочередное включение насосов в соответствии с соответствующими алгоритмами. SCADA-система в автоматическом режиме, без участия оператора, поддерживает работу системы теплоснабжения при различных внешних воздействиях.

### 3.3 Выводы по главе 3

В третьей главе разработаны и изготовлены лабораторный стенд и макетный образец двухконтурной гелиоустановки, проведены экспериментальные исследования. В результате экспериментальных работ суточный эффективный прирост тепла составил около 1050 МДж под разным окружающим воздухом. В температурных условиях максимальное значение среднесуточной эффективности системы составило 52 % с небольшой разницей между температурой коллектора и температурой окружающей среды.

Разработана сетевая архитектура для плоского солнечного коллектора с тепловым насосом. При различных условиях работы была разработана модель искусственной нейронной сети для оценки производительности системы солнечного теплоснабжения с тепловым насосом. Результаты подтверждают, что прогнозируемые значения ANN находятся в согласии с экспериментальными значениями.

Разработан интерфейс управления программным обеспечением солнечного контроллера и TRNSYS моделируемой системы солнечного коллектора. Веб-сервер при начале работы инициализирует библиотеки SPI, Ethernet, активизируются IP- и MAC-адреса, входные, выходные и последовательные данные. От инициализации библиотеки данных модуль Check Client соединяется с клиентом. Если есть клиент, тогда соединение устанавливается, если нет клиента, то выполняется повторный поиск. После соединения открывается новый HTML-файл и создается для управления контроллера слой, который имеет шесть температурных показателей и четыре кнопки управления клапанами, а также различные элементы для управления. Градиент температуры обусловлен эффективностью пластины поглотителя. Приведен температурный контур пластины-поглотителя коллектора с температурой на входе 30 °С.

Разработана система сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов и стационарная система дистанционного мониторинга солнечного коллектора. В контроллере управления солнечным коллектором имеется процессор T-Call ESP 32 + SIM 800L, который инициализирует и начинает сбор данных температуры коллектора, анализирует состояние реле клапанов в контроллере управления. После работы вышеуказанного процесса, процессор T-Call ESP 32 + SIM 800L подключается к Интернету. После процессор T-Call ESP 32 + SIM 800L-1 присоединяется к домену с протоколом передачи гипертекста (HTTP). Отправляются данные о температурах и состоянии реле клапанов контроллера управления в базу данных. С базы данных извлекаются данные с помощью PHP script. Извлеченные данные сохраняются в базе данных. Сохраненные данные интерпретируются в веб-интерфейсе для пользователей. Веб-интерфейс работает для мобильного варианта и персонального компьютера.

## ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕЛИОУСТАНОВКИ

Экономическая эффективность рассчитана на применение одной установки ГУ-300 для нагрева воды на бытовые нужды. Все расчеты экономической эффективности приводим с точки зрения экономии традиционных видов энергии и электрической энергии.

1. Исходные данные для расчета: суточный расход воды – 300 л, температура воды – до 50 °С, время эксплуатации (средний безморозный период)  $N = 213$  дня, средняя суточная мощность солнечного излучения  $J_T = 0,658$  кВт/м<sup>2</sup>, средний коэффициент эффективности установки  $\eta = 0,485$ , площадь гелиоприемника  $Z = 4,2$  м<sup>2</sup>, среднее суточное число часов солнечного сияния  $\tau = 10$  ч, средняя дневная температура наружного воздуха 23 °С, средняя тепловая мощность гелиоустановки ГУ-300  $P = 1,3$  кВт в час.

1. Среднее количество солнечной энергии, получаемой за сезон от одной гелиоустановки для нагрева воды,

$$Q_{сол} = PN\tau = 1,3 \cdot 213 \cdot 10 = 276 \text{ кВт.ч} \quad (4.1)$$

где  $P = 1,3$  кВт – средняя тепловая мощность гелиоустановки;

$N = 213$  сут. – срок эксплуатации гелиоустановки в безморозный период года;

$\tau = 10$  ч – среднее суточное число солнечного сияния.

2. Расход электрической энергии на получение этого количества тепловой энергии при использовании электрической энергии

$$Q_э = \frac{Q_{\text{н\ddot{o}}}}{\eta_э} = \frac{2769}{0,95} = 2914,8 \text{ кВт.ч} \quad (4.2)$$

где  $\eta = 0,95$  – КПД электронагревательных элементов.

3. Затраты на электрическую энергию

$$З_э = 2914,8 \cdot 8,25 = 24046,6 \text{ тг} \quad (4.3)$$

Где  $K_э = 20,25$  тг/кВт.ч – тариф на электрическую энергию, используемую на цели отопления и горячего водоснабжения.

4. При переводе количества электрической энергии на условное топливо

1 кВт.ч умножаем на 0,12 кг у.т., в итоге  $2914,8 \cdot 0,12 = 349$  кг у.т.

5. Средняя тепловая мощность плоского гелиоколлектора

$$P_{\text{сред.}} = \frac{P}{Z} = \frac{1,3}{4,8} = 270 \text{ Вт.} \quad (4.4)$$

6. Часовая производительность гелиоустановки:

$$П = V/\tau = 300/10 = 30 \text{ л/ч.} \quad (4.5)$$

Основной причиной, сдерживающей массовое сооружение гелиоустановок, является высокая удельная стоимость 1500–3000 долл. США/м<sup>3</sup>/сут, а, следовательно, большие для современной экономики сроки окупаемости. В общем случае срок окупаемости гелиоустановки ГУ-300 можно определить по формуле

$$T = S_c / (QC_T) = 12000 / (1,9892140) = 2,82 \text{ лет} \quad (4.6)$$

где  $S_c$  – удельная стоимость гелиоустановки, тг/м<sup>2</sup>;

$Q$  – годовое количество теплоты, выработанные гелиоустановкой, Гкал/м<sup>2</sup>;

$C_m$  – стоимость теплоты от традиционного энергоисточника, 2140 тг/Гкал;

$$Q = N \cdot m \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_2 - t_1) = 213 \cdot 300 \cdot 4,19 \cdot 0,973 \cdot (47 - 15) = 8336380 \text{ кДж/м}^2 \approx 1989589,5 \text{ Вт/м}^2 \approx 1,989 \text{ Гкал/м}^2.$$

Расчеты, произведенные по указанной методике, показали, что при одинаковых энергетических затратах на изготовление оборудования гелиоустановок и тепловых энергетических станции в расчете на единицу установленной мощности удельная стоимость гелиоустановок должна составлять 108–216 долл. США/м<sup>2</sup> при средней стоимости гелиоустановок в США 538 долл. США/м<sup>2</sup>.

Дополнительный годовой экономический эффект от использования солнечной энергии для нагрева воды достигается за счет снижения затрат на электроэнергию:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{Z}_3 = 24046,6 \text{ тг.} \quad (4.7)$$

Расчет экономической эффективности производится согласно методам экономической оценки по ГОСТу 23729-88, [83–85].

В результате расчета экономических показателей установлено, что гелиоустановка эффективна за счет использования солнечной энергии большей частью года, что позволяет сэкономить электрическую энергию на сумму 24046,6 тенге в год. Срок окупаемости гелиоустановки около трех лет.

#### 4.1 Энергетическая программа в сельских районах

Энергетическая политика в масштабах страны разрабатывается государством, и от продуманности и своевременности его решений зависит качество жизни населения. В Казахстане действуют разные программы, направленные на удовлетворение потребностей граждан и нужд экономики страны. Среди них Государственная программа развития агропромышленного комплекса РК на 2017–2021 гг., Концепция по переходу Республики Казахстан к зеленой экономике до 2050 г., Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 г. В то же время ввиду огромной

территории страны и ограниченности возможностей местного управления и самих потребителей, вопросы обеспечения доступными солнечными системами теплоснабжения сельских жителей, отдаленных производственных хозяйствующих субъектов, животноводческих ферм остаются не до конца решенными.

Сельские районы в Казахстане составляют 90 % всей территории страны. Сельские регионы Республики имеют разные характеристики с точки зрения доступа к энергоресурсам и их использованию по сравнению с городами, и не секрет, что они больше полагаются на уголь, дизель и дрова. В некоторых отдаленных горных районах сельские жители не имеют доступа к электричеству и газу, поэтому у них более ограниченный выбор энергетических решений. Многие сельские здания ветхие и недостаточно теплоизолированные, в то же время ориентированы на твердое топливо. Некоторые субъекты оснащены неэффективными отопительными приборами, ориентированы на традиционное электричество, поэтому жители этих районов и хозяйствующие субъекты могут столкнуться с более высокими счетами за электроэнергию.

#### **4.2 Выводы по главе 4**

В четвертой главе рассчитан технико-экономический анализ данной установки. По оптимистическим прогнозам, системы солнечного теплоснабжения для потребления воды и отопления в Казахстане могут сэкономить около 60–80% энергии, используемой для этой цели во всех регионах. Системы солнечного теплоснабжения, которые заменяют углеродные системы, подходят для районов с высокой солнечной радиацией. В данном исследовании проанализировали потенциальные преимущества систем солнечного теплоснабжения. В ходе проведения работы можно сделать вывод, что системы солнечного теплоснабжения обладают высоким потенциалом для снижения загрязнения окружающей среды. Результаты показывают, что за счет использования солнечной энергии можно значительно сократить выбросы парниковых газов.

В рассмотренной системе солнечного теплоснабжения экономия эксплуатационных затрат по сравнению с электрическим водонагревателем около 65%. Среднегодовой вклад солнечной энергии для горячего водоснабжения здания и помещения составляет 76%, а максимальный дисконтированный срок окупаемости системы составляет 8 лет, а средняя экономия на продолжительности жизни составляет 1151,46 евро.

Экономический анализ системы солнечного теплоснабжения показывает, что такая система всегда выгодна, с минимальным сроком окупаемости инвестиций от 5 до 6 лет без каких-либо государственных субсидий. Экономические параметры показали, что южные, восточные и западные регионы Казахстана лучшее место для использования систем солнечного теплоснабжения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гелиоустановки, которые потенциально способны дополнить существенную долю энергозатрат, из-за дороговизны, сезонности работы, низкой годовой производительности и КПД не дают ожидаемого эффекта. Решением вопроса может быть включение в состав гелиоустановок теплового насоса, чья эффективность подтверждается результатами исследований ученых стран СНГ и дальнего зарубежья. Однако подавляющее большинство разработок по применению ТН в процессах сельскохозяйственного производства, в том числе с автоматизированной гелиоустановкой, носят экспериментальный характер. В качестве теплового насоса используются серийно выпускаемые холодильные машины.

Основные результаты диссертационной работы следующие:

1. Проведенными патентными исследованиями обоснована новая конструктивно-технологическая схема двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом для горячего водоснабжения, отопления процессов в здании. Она состоит из гелиоколлектора, теплового насоса, бак-аккумулятора с устройствами резервного источника тепла.

2. Усовершенствована теоретическая основа и метод математического моделирования функционирования гелиоустановки с тепловым насосом. Учен учтен переменный характер коэффициента преобразования теплового насоса и теплопроизводительности установки в процессе работы, связанный с изменением температур теплоносителей в гелиоколлекторе и баке-аккумуляторе. Экспериментальные исследования подтвердили, что новое решение ТН в зависимости от условий работы обеспечивает повышение теплопроизводительности ДГУ до 10 %.

3. Представлены численные расчеты, которые показывают, что температура возле змеевидной трубки намного ниже между соседними параллельными частями трубки. Тепловые КПД коллектора змеевидных трубок на 4 % выше, чем у других типов антифризных коллекторов. При исследовании численным моделированием тепловой КПД плоского солнечного коллектора будет выше на 7–10 %, чем при экспериментальных данных.

4. Разработан и исследован новый контроллер управления двухконтурного гелиоколлектора с термосифонной циркуляцией.

5. Представлена разработка системы сбора, хранения и обработки информации с солнечных коллекторов с целью создания надежной системы сбора данных о солнечной энергии в режиме реального времени для оптимизации работы солнечной системы отопления и горячего водоснабжения. Демонстрируются аппаратные и программные результаты реализации реальных кейсов в промышленных и бытовых помещениях в течение длительного периода времени

6. Рассчитан удельный годовой экономический эффект на 1 кВт установленной мощности компрессора, который составил 123,0 тыс. тенге.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. EP2669585A1, МПК F24D 11/02. Система теплового насоса с солнечным источником воздуха. – 31.05.2013.
2. Пат. 4,420,947 США, МПК F25b13/00; F24j. Система кондиционирования воздуха с тепловым насосом. – Хозо Йошино, Митсубиси Электрик. – 20.12.1983.
3. Пат. 4,378,787 США, МПК F24j 3/02. Солнечная система отопления. – Dale Fleischmann. – 5.04.1983.
4. Пат. 4,551,987 США, МПК F25b 13/00. Солнечная система отопления и охлаждения с тепловым насосом. – 12.11.1985.
5. Пат. 4,232,820 США, F24j 3/02. Система коллектора тепла. – 11.11.1980.
6. А.С. 1268899 СССР, МКИ<sup>4</sup> F24J 2/08. Гелиоустановка [Текст] / В.Б. Аванесов, Д. К. Агаев, Р. С. Самедов. – СССР. – 07.11.1986, бюл. № 41.
7. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р. Р. Аvezов, М. А. Барский-Зорин, И. М. Васильева и др.; Под редакцией Э. В. Сарнацкого, С. А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 С.
8. Пат. 2575198 RU, МПК F24J 2/52. Система солнечного теплоснабжения [Текст]/А. В. Бастрон, Г. В. Гайдаш. – № 2014144391/06, заявл.: 31.10.2014, опубл.: 20.02.2016, бюл. № 5.
9. Пат. 855 КР, МПК 7 F 24 J 2/00. Солнечный коллектор с эффектом сифона [Текст]/А. А. Тагайматова, А. Дж. Обозов. – № 20040092.1, заявл.: 29.09.2004, опубл.: 28.02.2006, бюл. № 2.
10. Пат. 1633240 СССР, МПК F24J 2/42. Система солнечного теплоснабжения [Текст]/А. Дж. Обозов, Т. М. Турусбеков. – № 4682654/06, заявл.: 23.03.1989, опубл.: 07.03.91, бюл. № 9.
11. Пат. 28944 Казахстан, МПК F24D 3/08. Устройство для интегрированного использования энергии возобновляемых источников [Текст]/ Р. А. Омаров, А. Е. Райымбеков, А. Е. Байболов, Д. Р. Омар. – № 2013/1432.1, завл.: 24.10.2013, опубл.: 15.09.2014, бюл. № 9.
12. Пат. 30004 Казахстан, МПК F25B 30/02. Тепловой насос [Текст]/ А. Е. Байболов, А. Е. Райымбеков, Д. Р. Омар, Р. А. Омаров. – 2014/0575.1, 25.04.2014, опубл.: 15.06.2015, бюл. № 6.
13. Беспроводной индивидуальный контроллер ARC C IR. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bosch-climate.ru/catalog/sistemy-kondicionirovaniya/vrf-kommercheskie-sistemy-kondicionirovaniya/sistemy-upravleniya-i-prinadlezhnosti-sistem-kondicionirovaniya-air-flux/besprovodnoy-individualnyu-kontroller-arc-c-ir/>.

14. Пат. 10755 Белоруссия, МПК G 01D 3/00. Контроллер управления гелиосистемой [Текст]/А. С. Войтенков, С. И. Вильчиков, Е. С. Данилов. – № 20150032, опубли.: 30.08.2015.
15. Vitosol 300-T SP3C. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.viessmann.kz/kk/misc/poisk.html?q=%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80& charset =UTF-8>
16. Energieversorger. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.buderus.de/de/branchen/energiecontracting>
17. Производство солнечных коллекторов с медными и алюминиевыми абсорберами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clearspending.ru/supplier/inn=5012039795&kpp=332102001>
18. Производство плоских солнечных коллекторов с медными листотрубными абсорберами собственного изготовления. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.newpolus.ru>
19. **Kalogirou, S.** Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters [Текст]/Kalogirou, S.Sol. Energy,2009. – № 83. – P. 39–48.
20. Norton, B., Probert, S. D. Natural-circulation solar-energy stimulated systems for heating water [Текст]/ Norton, B., Probert, S. D.Appl. Energy, 1982. – № 11. – P. 167–196.
21. Tang, R., Yang, Y. Nocturnal reverse flow in water-in-glass evacuated tube solar water heaters [Текст]/Tang, R., Yang, Y. Energy Convers. Manag, 2014. – № 80. – P. 173–177.
22. Morrison, G. L., Ranatunga, D. B. J. Thermosyphon circulation in solar collectors [Текст]/Morrison, G. L., Ranatunga, D. B. J.Sol. Energy,1980. – № 24. – P. 191–198.
23. Experimental and modeling studies on thermosiphon domestic solar water heaters with flat-plate collectors at clear nights [Текст]/ [Tang, R., Cheng, Y., Wu, M., Li, Z., Yu, Y]. Energy Convers. Manag, 2010. – № 51. – P. 2548–2556.
24. Morrison, G. L. Reverse circulation in ther mosyphon solar water heaters [Текст] / Morrison, G. L.-Sol. Energy, 1986. – № 36. – P. 377–379.
25. Potential and future prospects of geothermal energy in space conditioning of buildings. India and worldwide review [Текст]/ [Aggarwal, V., Meena, C. S., Kumar, A., Alam, T., Kumar, A., Ghosh, A., Ghosh, A.]. -Sustainability,2020. – № 12. – P. 8428.
26. Indoor Air Quality Improvement in COVID-19 Pandemic: Review [Текст]/ [Agarwal, N., Meena, C. S., Raj, B. P., Saini, L., Kumar, A., Gopalakrishnan N., Kumar A., Balam N. B., Alam T., Kapoor N. R., et al.]. Sustain. Cities Soc, 2021. – № 70. – P. 102942.

27. New concepts and approach for developing energy efficient buildings: Ideal specific heat for building internal thermal mass [Текст]/ [Zeng, R., Wang, X., Di, H., Jiang, F., Zhang, Y]. Energy Build, 2011. – № 43. – P. 1081–1090.
28. Energetic and financial evaluation of solar assisted heat pump space heating systems[Текст]/ [Bellos, E., Tzivanidis, C., Moschos, K., Antonopoulos K.A.]-Energy Convers. Manag, 2016. – № 120. – P. 306–319.
29. **Huang, Y.** Study on performance of energy-efficient retrofitting measures on commercial building external walls in cooling-dominant cities [Текст]/ Huang, Y, Niu, J., Chung T. - Appl. Energy,2013. – № 103. – P. 97–108.
30. Energetic and financial evaluation of a solar assisted heat pump heating system with other usual heating systems in Athens [Текст]/ [Tzivanidis, C., Bellos, E., Mitsopoulos, G., Antonopoulos K.A., Delis A.]. Appl. Therm. Eng,2016. – № 106. – P. 87–97.
31. **Nozik, A. J.** Photoelectrochemistry: Applications to Solar Energy Conversion [Текст] / Nozik, A. J.- Ann. Rev. Phys. Chem,2003. – № 29. – P. 189–222.
32. **Lewis, N. S.** Toward cost-effective solar energy use [Текст] / Lewis, N. S.- Science,2007. – № 315. – P. 798–801.
33. **Li, B.** Integration of Solar Systems with Heat Pumps and Other Technologies [Текст] /In Handbook of Energy Systems in Green Buildings / Li, B., Wang, R., Zhai, X., Eds, -Springer: Berlin; Heidelberg, Germany, 2017. – P. 1372–1407.
34. **Tagliafico, L. A.** Direct Expansion Solar-Assisted Heat Pumps. A Clean Steady State Approach for Overall Performance Analysis [Текст] / Tagliafico, L. A, Scarpa, F, Valsuani, F. -Appl. Therm. Eng, 2014. – № 66. – P. 216–226.
35. Thermo-Hydraulic Performance Characteristics and Optimization of Protrusion Rib Roughness in Solar Air Heater [Текст] / [Alam, T., Meena, C. S., Balam, N. B., Kumar, A., Cozzolino, R]. - Energies, 2021. – № 14. – P. 3159.
36. **Vera-Medina, J.** Performance analysis of factory-made thermosiphon solar water heating systems [Текст] / Vera-Medina, J., Fernandez-Peruchena, C., Lillo-Bravo, I. -Renewable Energy, 2021. – № 164. – P. 1215–1229.
37. Numerical simulation on solar collector and cascade heat pump combi water heating systems in Kazakhstan climates [Текст] / [Yerdesh, Ye., Abdulina, Z., Aliuly, A., Belyayec, Ye., Mohanraj, M., Kaltayev, A.]. Renewable Energy,2020. – № 145. – P. 1222–1234.
38. **Бутузов, В. А.** Перспективы применения тепловых насосов [Текст]/ Бутузов, В. А. -Промышленная энергетика,2005. – № 10. – С. 23–34.
39. **Гершкович, В. Ф.** От централизованного теплоснабжения к тепловым насосам [Текст]/ Гершкович, В. Ф. Новости теплоснабжения, 2010. – № 11. – С. 34–39.

40. Использование тепловых насосов для систем теплоснабжения в Приморском крае [Текст]/ [Ковалев, О. П., Ильин, А. К., Волков, А. В., Лощенков, В. В., Ильчук, Ю. В]. - Труды ДВГТУ, 2003. – № 133. – С. 206–211.
41. **Бутузов, В. А.** Солнечные коллекторы в России и на Украине: конструкции и технические характеристики [Текст]/Бутузов, В. А. Теплоэнергетика, 2003. – № 1. – С. 37 – 40.
42. **Бутузов, В. А.** Проектирование систем солнечного горячего водоснабжения. Анализ российского опыта и нормативных документов [Текст]/ Бутузов, В. А. Промышленная энергетика, 2003. – № 1. – С. 39–45.
43. **Бутузов, В. А.** Гелиоустановки горячего водоснабжения большой производительности [Текст]/ Бутузов, В. А. Промышленная энергетика, 2002. – № 9. – С. 44–51.
44. **Валов, М. И.** Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения: монография [Текст]/ М.И. Валов, Б. И. Казанджан. – М.: Изд-во МЭИ. –1991. – С. 140.
45. **Ковалев, О. П.** Комбинированная солнечная установка горячего водоснабжения и отопления для автономного объекта [Текст]/ О. П. Ковалев, А. В. Волков, В. В. Лощенков, Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: тез. докл. конф. – СПб. – 2001. – С. 46–48.
46. **Попель, О. С.** Эффективность применения солнечных водонагревателей в климатических условиях средней полосы России [Текст]/ Попель, О. С. Энергосбережение, 2001. – № 1. – С. 12–19.
47. **Тарнижевский, Б. В.** Состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии в России [Текст]/ Тарнижевский, Б. В. Промышленная энергетика, 2002. – № 1. – С. 52–56.
48. **Тагайматова, А. А.** Исследование и разработка солнечного коллектора с эффектом сифона [Текст]/ Тагайматова, А. А., Обозов А. Дж. Проблемы управления и автоматики. – Бишкек: Илим, 2007. – С. 186–190.
49. **Тагайматова, А. А.** Метод определения параметров солнечного коллектора с эффектом сифона [Текст]/Тагайматова, А. А., Обозов А. Дж. Проблемы автоматики и управления. – Бишкек: Илим, 2001. – С 166–175.
50. **Тагайматова, А. А.** Разработка математической модели передачи тепловой энергии в солнечном коллекторе с эффектом сифона [Текст]/ Тагайматова, А. А. Проблемы автоматики и управления. – Бишкек: Илим, 2007. – С. 77–83.
51. **Тагайматова, А. А.** Солнечные системы горячего водоснабжения с коллектором с эффектом сифона [Текст]/ Тагайматова, А. А., Обозов А. Дж. 4-я казахстанская Междунар. конф. по энергетике. – Бишкек. – 2005. – С. 106–111.

52. **Омаров, Р. А.** К математическому моделированию двухконтурной гелиоустановки с тепловым насосом [Текст]/ Омаров, Р. А. Состояние, проблемы и перспективы развития механизации сельского хозяйства и машиностроения для АПК: Материалы междунар. науч.-практич. конференции – Алматы: КазНАУ, 2004. – С. 222–227.
53. **Омаров, Р. А.** К методике расчета параметров гелиоустановок [Текст]/ Омаров, Р. А. Вестн. сельскохоз. науки Казахстана. – Алматы, 2004. – № 12. – С. 52–53.
54. **Жамалов, А. Ж.** Результаты исследования гелиосистемы горячего водоснабжения на объекте Байсеркенского ХПП. Гелиоэнергетический потенциал республики Казахстан [Текст]/ Жамалов, А. Ж. – Алматы: Полиграфия и сервис и К. – 2010. – С. 193–204.
55. **Жамалов, А. Ж.** Экспериментальные исследования теплотехнических характеристик солнечного водонагревателя с промежуточным теплоносителем. Гелиоэнергетический потенциал республики Казахстан [Текст]/ Жамалов, А. Ж. – Алматы: Полиграфия и сервис и К, 2010. – С. 204–214.
56. Performance of Thermosyphon Solar Water Heaters in Series [Текст]/ [Yi–Mei, L., Kung–Ming, Ch., Keh–Chin, Ch. and Tsong–Sheng L]. Energies, 2012. – № 5. – P. 3266–3278.
57. **Myeong Jin, K.** Multi-Objective Optimization Design for Indirect Forced-Circulation Solar Water Heating System Using [Текст]/ Myeong Jin, K. Energies, 2015. – № 8. – P. 13137–13161.
58. Effect of Installation of Solar Collector on Performance of Balcony Split Type Solar Water Heaters [Текст]/ Xu, J., Ming, L., Weidong, L., Tufeng, Zh., Yunfeng, W. International Journal of Photoenergy, 2015. – № 865041. – P. 9.
59. **Lacour, A.** Thermal performance analysis of a solar water heating system with heat pipe evacuated tube collector using data from a field trial [Текст]/ Lacour, A., Aidan, D. Solar Energy, 2013. – № 90. – P. 17–28.
60. Recent advances in the solar waterheating systems: A review [Текст]/ Ruchi, Sh., Sumathy, K., Phillip, E., Jiawei, G. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. – № 19. – P. 173–190.
61. **Siddiqui, M.** A review of solar powered absorption systems [Текст]/ Siddiqui, M., Said, S. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. – № 42. – P. 93–115.
62. **Kalogirou, S.** Solar thermal collectors and applications [Текст]/ Kalogirou, S. Progress in Energy and Combustion Science, 2004. – № 30. – P. 231–295.
63. Exergy analysis of solar thermal collectors and processes [Текст]/ [Kalogirou, S. A., Karellas, S., Braimakis, K., Stanciu, C., Badescu, V]. Prog. Energy Combust. Sci, 2016. – № 56. – P. 106–137.

64. Study and modeling of energy performance of a hybrid photovoltaic/thermal solar collector: Configuration suitable for an indirect solar dryer [Текст]/ [Slimani, M. E. A., Amirat, M., Bahria, S., Kurucz, I., Aouli, M., Sellami, R]. *Energy Convers. Manag*, 2015. – Vol. 125. – P. 209–221.
65. **Assaf, J.** Transient simulation modeling and energy performance of a standalone solar-hydrogen combined heat and power system integrated with solar-thermal collectors [Текст]/ Assaf, J., Shabani, B. *Appl. Energy* 2016. – Vol. 178(41). – P. 66–77.
66. Supervisor control and optimization of multi-sources pumping system with battery storage [Текст]/ Serir, C., Rekioua, D., Mezzai, N., Bacha, S., *Int. J. Hydrogen Energy*, 2016. – Vol. 41(45). – P. 20974–20986.
67. **Beschi, M.** Fractional robust PID control of a solar furnace [Текст]/ Beschi, M., Padula, F., Visioli, A. *Control Eng. Prac*, 2016. – Vol. 56. – P. 190–199.
68. **Gürel, A. E.** Thermodynamic analysis of PID temperature controlled heat pump system [Текст]/ Gürel, A. E., Ceylan, İ. *Case Stud. Therm. Eng*, 2014. – Vol. 2. – P. 42–49.
69. Electronically controlled pH gradients and proton oscillations [Текст]/ [Isaksson, J., Nilsson, D., Kjäll, P., Robinson, N.D, Richter-Dahlfors, A., Berggren, M]. *Org. Electron. Physics, Mater. Appl*, 2008. – Vol. 9(3). – P. 303–309.
70. Automating double ring infiltrometer with an Arduino microcontroller [Текст]/ Fatehnia, M., Paran, S., Kish, S., Tawfiq, K. *Geoderma*, 2016. – Vol. 262. – P. 133–139.
71. **Benammar, S.** Contribution to the modeling and simulation of solar power tower plants using energy analysis [Текст]/ Benammar, S., Khellaf, A., Mohammedi, K *Energy Convers. Manag*, 2014. – Vol. 78. – P. 923–930.
72. **Aizam, S.** PID Voltage Control for DC Motor Using MATLAB Simulink and Arduino Microcontroller [Текст]/ Aizam, S. *J. Appl. Environ. Biol. Sci*, 2015. – Vol. 5(9). – P. 661–731.
73. **Singh, A. P.** Speed Control of DC Motor using PID Controller Based on Matlab [Текст]/ Singh, A. P. *Innovative Systems Design and Engineering*, 2013. – Vol. 4(6). – P. 22–28.
74. **Kumar, R.** Comparison among some well-known control schemes with different tuning methods [Текст]/ Kumar, R., Singla, S. K., Chopra, V. *Journal of Applied Research and Technology*, 2015. – № 13 – P. 409–415
75. Computation of heat quantity, thermal detector filling coefficient and performance of single circuit solar system with thermo siphon circulation [Текст]/ [Kunelbayev, M., Auelbekov, O., Katayev, N., Kozbakova, A., Daulbayev, S]. *Ecology, Environment and Conservation*, 2019. – Vol. 25. – P. 822–830.

76. **Yedilkhan, A.** Dynamic simulation of a solar hot water heating system for Kazakhstan climate conditions [Текст]/Yedilkhan, A., Merembayev, T., Kunelbayev, M. 14th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO) IEEE, 2018. – P. 1–6.
77. **He, L.** Unsteady conjugate heat transfer modeling [Текст]/ He, L., Oldfield, M. L. G. Journal of Turbomachinery, 2011. – Vol. 133. – P. 1–12.
78. **Rebay, M.** Measurement of the convective heat coefficients by the pulsed method-influence of the boundarylayer perturbation [Текст]/ Rebay, M., Lachi, M., Padet, J. International Journal of Thermal Sciences, 2002. – Vol. 41. – P. 1161–1175.
79. **Rebay, M.** Parametric study of unsteady forced convection with pressure gradient [Текст]/ Rebay, M., Padet, J. International Journal of Engineering Science, 2005. – Vol. 43. – P. 655–667.
80. **Rebay, M.** Forced convection from a microstructure on a flat plate [Текст]/ Rebay, M., Padet, J., Kakac, S Heat and Mass Transfer, 2007. – Vol. 43. – P. 309–317.
81. **Charters, W.** Solar collector desing and testing search [Текст]/ Charters, W., Window, B, 1978. – Vol. 9. – № 4. – P. 123–129.
82. **Hill, J. E.** A method of testing for rating solar collectors based on thermal performance [Текст]/ Hill, J. E., Streed, E. R. Solar Energy, 1976. – Vol. 18. – P. 421–429
83. **Justing, B.** Agreement on test procedures is the first step [Текст]/ Justing, B. Sunword, 1978. – Vol. 2. – № 3.
84. **Heyword, K.** Constructing on outdoor solar collector test facility [Текст]/ Heyword, K. Chartered Mech. Eng, 1979. – Vol. 26. – № 11, - 61.
85. **Kalt, A.** Flate-plate solar collector performance evaluation with a solar simulator as a basis for collector selection and performance prediction [Текст]/ Kalt, A., Simon, F.F. Solar Energy, 1976. – Vol. 18.
86. Predicting Heating Time, Thermal Pump Efficiency and Solar Heat Supply System Operation Unloading Using Artificial Neural Networks [Текст]/ [Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Kalizhanova, A., Kozbakova, A., Amirgaliyev, B]. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, Vol. 9. – № 6. – P. 221–232.
87. Solution of numerical and statistical data and construction of prediction model by means of computer-aided learning program lightgbm for solar heat supply «flat solar collector +heat pump» system [Текст]/ [Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Kalizhanova, A., Kozbakova, A., Aigerim, A]. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 2019. – Vol. 11(8). – P. 2733–2745.
88. Development and research of the control algorithm and software of solar controller for double-circuit solar collectors with thermosiphon circulation [Текст]/

[Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Amirgaliyev, B., Sundetov, T., Yedilkhan, D., Merembayev, T]. 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies, PGSRET 2019, 2019. – P. 1–7.

89. Theoretical analysis to determine the efficiency of a CuO–water nanofluid based–flat plate solar collector for domestic solar water heating system in Myanmar [Текст]/ [Sint, N. K. C., Choudhury, I. A., Masjuki, H. H., Aoyama, H]. Solar Energy, 2017. – Vol. 155. – P. 608–619.

90. Annual measured and simulated thermal performance analysis of a hybrid solar district heating plant with flat plate collectors and parabolic trough collectors in series [Текст]/ [Tian, Z., Perers, B., Furbo, S., Fan, J]. Applied Energy, 2017. – Vol. 205. – P. 417–427.

91. **Li, Q.** Performance analysis of a rooftop wind solar hybrid heat pump system for buildings [Текст]/ Li, Q., Chen, Q., Zhang, X. Energy Build, 2013. – Vol. 65. – P. 75–83.

92. Large–scale solar district heating plants in Danish smart thermal grid: Developments and recent trends [Текст]/ [Tian, Z., Zhang, S., Deng, J., Fan, J., et al]. Energy Convers Manag, 2019. – Vol. 189. – P. 67–80.

93. A coupled numerical model for tube–on–sheet flat–plate solar liquid collectors. Analysis and validation of the heat transfer mechanisms [Текст]/ [Cerón, J. F., Pérez-García, J., Solano, J. P., García, A., Herrero-Martín, R]. Applied Energy, 2015. – Vol. 140. – P. 275–287.

94. **Gunjo, D. G.** Exergy and energy analysis of a novel type solar collector under steady state condition: experimental and CFD analysis [Текст]/ Gunjo, D. G., Mahanta, P., Robi, P. S. Renew Energy, 2017. – Vol. 114. – P. 655–669.

95. Numerical and experimental study of a corrugated thermal collector [Текст]/ [Álvarez, A., Tarrío-Saavedra, J., Zaragoza, S., López-Beceiro, J., Artiaga, R., Naya, S., et al]. Case Studies in Thermal Engineering, 2016. – Vol. 8. – P. 41–50.

96. Thermal performance of flat plate solar collectors with sheet-and-tube and roll-bond absorbers [Текст]/ [Del Col, D., Padovan, A., Bortolato, M., Dai Prè, M., Zambolin, E]. // Energy, 2013. – Vol. 58. – P. 258–269.

97. Comparative field experimental investigations of different flat plate solar collectors [Текст]/ Chen, G., Doroshenko, A., Koltun, P., Shestopalov, K. Solar Energy, 2015. – Vol. 115. – P. 577–588.

98. **Facão, J.** Optimization of flow distribution in flat plate solar thermal collectors with riser and header arrangements [Текст]/ Facão, J. Solar Energy, 2015. – Vol. 120. – P. 104–112.

99. **Fan, J.** Flow distribution in a solar collector panel with horizontally inclined absorber strips [Текст]/ Fan, J., Shah, L. J., Furbo, S. Solar Energy, 2007. – Vol. 81. – P. 1501–1511.



100. Numerical study and experimental validation on the optimization of the large size solar collector [Текст]/ [Zhou, F., Ji, J., Yuan, W., Cai, J., Tang, W., Modjinoua, M]. Applied Thermal Engineering, 2018. – Vol. 133. – P. 8–20.
101. Numerical study of flat plate solar collector with novel heat collecting components [Текст]/ [Wang, N., Zeng, S., Zhou, M., Wang, S]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2015. – Vol. 69. – P. 18–22.
102. **Deng, Y.** Experimental investigation of performance for the novel flat plate solar collector with micro-channel heat pipe array (MHPA–FPC) [Текст]/Deng, Y., Zhao, Y., Wang, W. Applied Thermal Engineering, 2013. – Vol. 54. – Iss. 2. – P. 440–449.
103. Experimental study of the performance for a novel kind of MHPA-FPC solar water heater [Текст]/ [Deng, Y., Wang, W., Zhao, Y., Yao, L., Wang, X]. Applied Energy, 2013. – Vol. 112. – P. 719–726.
104. **Mansour, M. K.** Thermal analysis of novel minichannel-based solar flat-plate collector [Текст]/Mansour, M. K. Energy, 2013. – Vol. 60. – P. 333–343.
105. Performance evaluation of a flat-plate solar collector filled with porous metal foam: experimental and numerical analysis [Текст]/ [Saedodin, S., Zamzamian, S. A. H., Eshagh Nimvari, M., Wongwises, S., Javaniyan Jouybari, H]. Energy Conversion and Management, 2017. – Vol. 153. – P. 278–287.
106. Calculation and selection of flat–plate solar collector geometric parameters with thermosiphon circulation [Текст]/[Amirgaliyev, Y., Kunelbayev, M., Wójcik, W., Amirgaliyev, B., Kalizhanova, A., Auelbekov, O., Kataev, N., Kozbakova, A]. Journal of Ecological Engineering, 2018. – Vol. 19. – Iss. 6. – P. 176–181.
107. **Duffie, J. A.** Solar Engineering of Thermal Processes [Текст]/ Duffie, J. A., Beckman, W. A. –4th ed. – New York: John Wiley & Sons, 2013. – 944 p.
108. Wireless Energy Monitoring System of Photovoltaic Plants with Smart Anti–Theft solution integrated with Household Visconti, P., Lay–Ekuakille, A., Primiceri, P., Cavalera G. [Текст]/International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 2016. – Vol. 9. – Iss. 2. – P. 681–708.
109. Low-Power Wireless Liquid Monitoring System Using Ultrasonic Sensors [Текст]/[Viswanath, S., Belcastro, M., Barton, J., O’Flynn, B., Holmes, N., Dixon, P]. International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems, 2015. – Vol. 8. – № 1. – P. 26–44.
110. **Sanz-Bobi, M. A.** Use, Operation and Maintenance of Renewable Energy Systems [Текст]/ Sanz-Bobi, M. A. Green Energy and Technology: Experiences and Future Approaches. Springer Int. Publishing, 2014. – № 1. – 385 p.
111. Smart Home Energy Management System Including Renewable Energy Based on ZigBee and PLC [Текст]/ [Han, J., Choi, C. S., Park, W. K., Lee, I., Kim, S.

H]. // IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2014. – Vol. 60. – № 2. – P. 198–202.

112. Hybrid modeling of a solar-thermal heating facility [Текст]/ [Pasamontes, M., Alvarez, D. J., Guzman, J. L., Berenguel, M., Camacho, E. F]. Solar Energy, 2013. – Vol. 97. – P. 577–590.

113. Internet of Things for smart homes and buildings: Opportunities and Challenges [Текст]/ [Ghayvat, H., Liu, J., Babu, A., Alahi, E., Gui, X., Mukhopadhyay, S. C]. Australian Journal of Telecommunications and the Digital Economy, 2015. – Vol. 3. – Iss. 4. – P. 33–47.

114. **Ghayvat, H.** WSN- and IOT-based smart homes and their extension to smart buildings [Текст]/Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S., Gui, X., Suryadevara, N. Sensors Journal, 2015. – Vol. 15. – Iss. 5. – P. 10350–10379.

115. **Rehman, Z.** Multiinput DC-DC converters in renewable energy applications – An overview [Текст]/Rehman, Z., Al-Bahadly, I., Mukhopadhyay, S. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. – Vol. 41. – P. 521–539.

116. The Smart Home System based on the IAP15F2K61S2 and GSM [Текст]/ [Zhenghua, X., Guolong, C., Li, H., Song Q., Hu, L., Lei, C., Youwen, M., Yexiang, X]. International Journal On Smart Sensing and Intelligent Systems, 2015. – Vol. 7. – № 4. – P. 1789–1806.

117. Development of Android based online monitoring and control system for Renewable Energy Sources [Текст]/Jiju, K., Brijesh, P., Ramesh, P. Sreekumari, B. IEEE Proceeding of Int. Conf. on Computer, Communication and Control Technology (I4CT 2014), 2014. – P. 372–375.

118. **Patttanayak, A. S.** Implementation of a smart grid system to remotely monitor, control and schedule energy sources using Android based mobile devices [Текст]/ Patttanayak, A. S., Pattnaik, B. S., Panda, B. N. IEEE Proceeding of 9th Int. Conf. on Industrial and Information Systems (ICIIS), 2014. – P. 1–5.

119. The graphic analytical method of flat solar collector energetic and optical characteristics [Текст]/ [Amirgaliyev, Y. N, Kunelbayev, M, Merembayev, T, Daulbayev, S, Irzhanova, A]. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2019. – Vol. 9. – Iss. 3. – P. 1749–1760.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

### Акты о внедрении

Казахстан Республикасы  
**ЖШС «KazMicroD»**  
Алматы қ., «Көкжиек» ы/а, 12 үй, 3  
қв.  
тел: +7(707) 634-73-58



Республика Казахстан  
**ТОО «KazMicroD»**  
г. Алматы, мкр. «Көкжиек», дом 12,  
қв-3.  
тел: +7(707) 634-73-58

Email: [salauat-koke@yandex.ru](mailto:salauat-koke@yandex.ru)

Email: [salauat-koke@yandex.ru](mailto:salauat-koke@yandex.ru)

ИИК KZ16722SB00000000823, АО «Kaspi Bank», БИН 181140026391, БИК CASPKZKA, КБЕ 17

#### Акт

внедрения научно-исследовательских результатов диссертационной работы  
Кунелбаева Мурата Меркебековича по теме «Система управления двухконтурной  
гелиоустановкой с термосифонной циркуляцией»

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационного исследования по теме «Система управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией», полученные диссертантом по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность) Кунелбаевым Муратом Меркебековичем: разработана математическая и имитационная модель функционирования гелиоустановки, исследованы новые конструкции предложенных четырех плоских солнечных коллекторов, предназначенные для обеспечения горячей водой и теплоснабжения здания, помещения, крестьянских и фермерских хозяйств и других объектов, разработаны два новых типа конструкции тепловых насосов, использованные в рамках системы для обеспечения теплом в зимний период времени, а также создана новая система управления и мониторинга за работой системы солнечного теплоснабжения контроллеров, датчиков, ПЛИС с использованием разработанной системы сетевого сбора, хранения и обработки информации от солнечных коллекторов. Разработана и предложена методика автоматизации и управления технологических процессов в рамках системы солнечного теплоснабжения с использованием алгоритмов машинного обучения, которые могут быть применены для выявления аномалий в работе солнечной установки.

Қазақстан Республикасы  
**ЖШС «KazMicroD»**  
Алматы қ., «Көкжиек» ы/а, 12 үй, 3  
қв.  
тел: +7(707) 634-73-58



Республика Казахстан  
**ТОО «KazMicroD»**  
г. Алматы, мкр. «Көкжиек», дом 12,  
қв-3.  
тел: +7(707) 634-73-58

Email: [salauat-koke@yandex.ru](mailto:salauat-koke@yandex.ru)

Email: [salauat-koke@yandex.ru](mailto:salauat-koke@yandex.ru)

ИК КЗ16722SB00000000823, АО «Kaspi Bank», БИН 181140026391, БИК CASPKZKA, КБЕ 17

На сегодняшний день внедренная в нашей компании «Система управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией», зарекомендовал себя как надежная система, отвечающая всем современным требованиям, предъявляемым к автоматизированной системе управления двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией.

За время эксплуатации в зимний период времени «Система управления двухконтурной гелиоустановкой с термосифонной циркуляцией» показала отличные технические результаты по обеспечению теплом в зданиях и помещениях ТОО «KazMicroD».

Генеральный директор

**Мамбетов Д.М.**



ПАТЕНТЫ

  
 ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ      РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН  
 REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
**ПАТЕНТ**  
**PATENT**  
 № 35112  
 ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION



(21) 2020/0227.1  
(22) 09.04.2020  
(45) 15.10.2021

(54) Күн коллекторын қашықтан басқару жүйесі  
Система дистанционного мониторинга солнечного коллектора  
Solar collector remote monitoring system

(73) Амиргалиев Едилхан Несипханович (KZ)  
Амиргалиев Едилхан Несипханович (KZ)  
Amirgaliyev Yedilkhan Nesipkhanovich (KZ)

(72) Кунелбаев Мурат Меркебекович (KZ)      Kunelbayev Murat Merkebekovich (KZ)  
Едилхан Дидар (KZ)      Yedilkhan Didar (KZ)  
Даулбаев Салауат Муратович (KZ)      Daulbayev Salauat Muratovich (KZ)  
Козбакова Айнур Холдасовна (KZ)      Kozbakova Ainur Kholdasovna (KZ)  
Калижанова Алия Уалиевна (KZ)      Kalizhanova Aliya Ualiyevna (KZ)  
Сундетов Талгат Рысбекұлы (KZ)      Sundetov Talgat Rysbekuly (KZ)  
Орманов Талгат Алтайұлы (KZ)      Ormanov Talgat Altayuly (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Н. Әбілқайыров  
Н. Абулкаиров  
N. Abulkairov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директорының м.а.  
 И.о. директора РП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
 Executive director of RSE «National institute of intellectual property»

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ  
PATENT

№ 33741

ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION



(21) 2018/0209.1  
(22) 04.04.2018

Қазақстан Республикасы Өнертабыстары мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Inventions of the Republic of Kazakhstan: 02.07.2019

(54) Термосифонды циркуляциясы бар екі контурлы гелио кондырғысы  
Двухконтурная гелиоустановка с термосифонной циркуляцией  
Dual-circuit solar unit with thermosiphon circulation

(73) Амиргалиев Едилхан Несипханович (KZ); Кунелбаев Мурат Меркебекович (KZ); Ауелбеков Омирлан Ауелбекович (KZ); Катаев Назбек Сейсенбайұлы (KZ); Калижанова Алия Уалиевна (KZ); Козбакова Айнуր Холдасовна (KZ)  
Amirgaliyev Yedilkhan Nesipkhanovich (KZ); Kunelbayev Murat Merkebekovich (KZ); Auelbekov Omirlan Auelbekovich (KZ); Katayev Nazbek Seisenbayuly (KZ); Kalizhanova Aliya Ualiyevna (KZ); Kozbakova Ainur Kholdasovna (KZ)

(72) Амиргалиев Едилхан Несипханович (KZ)  
Кунелбаев Мурат Меркебекович (KZ)  
Ауелбеков Омирлан Ауелбекович (KZ)  
Катаев Назбек Сейсенбайұлы (KZ)  
Калижанова Алия Уалиевна (KZ)  
Козбакова Айнур Холдасовна (KZ)

Amirgaliyev Yedilkhan Nesipkhanovich (KZ)  
Kunelbayev Murat Merkebekovich (KZ)  
Auelbekov Omirlan Auelbekovich (KZ)  
Katayev Nazbek Seisenbayuly (KZ)  
Kalizhanova Aliya Ualiyevna (KZ)  
Kozbakova Ainur Kholdasovna (KZ)



Е. Оспанов  
Y. Osipov

«Үлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ  
PATENT

№ 4012

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2019/0161.2

(22) 21.02.2019

Қазақстан Республикасы Пайдалы модельдер мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan: 28.05.2019

(54) Гелиожүйені басқару контроллері  
Контроллер управления гелиосистемой  
Control controller of solar system

(73) Амиргалиев Едильхан Несипханович (KZ)  
Amirgaliyev Yedilkhan Nesipkhanovich (KZ)

(72) Кунелбаев Мурат Меркебекович (KZ)  
Козбакова Айнур Холдасовна (KZ)  
Сундетов Талгат Рысбекұлы (KZ)  
Ауелбеков Омирлан Ауелбекович (KZ)  
Даулбаев Салауат Муратович (KZ)  
Қатаев Назбек Сейсенбайұлы (KZ)

Kunelbayev Murat Merkebekovich (KZ)  
Kozbakova Ainur Kholdasovna (KZ)  
Sundetov Talgat Rysbekuly (KZ)  
Auelbekov Omirlan Auelbekovich (KZ)  
Daulbayev Salauat Muratovich (KZ)  
Katayev Nazbek Seisenbaiuly (KZ)



Е. Осипов  
Y. Osipov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ  
PATENT**

№ **5591**

**ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL**



(21) 2020/0650.2

(22) 13.07.2020

(45) 20.11.2020

(54) Күн коллекторларын қашықтан бақылау жүйесі  
Система дистанционного мониторинга солнечных коллекторов  
Remote monitoring system for solar collectors

(73) Амиргалиев Едилхан Несипханович (KZ)  
Amirgaliyev Yedilkhan Nesipkhanovich (KZ)

(72) Кунелбаев Мурат Меркебекович (KZ)	Kunelbayev Murat Merkebekovich (KZ)
Калимолдаев Максат Нурадилович (KZ)	Kalimoldayev Maksat Nuradilovich (KZ)
Сундетов Талгат Рысбекұлы (KZ)	Sundetov Talgat Rysbekuly (KZ)
Даулбаев Салауат Муратович (KZ)	Daulbayev Salauat Muratovich (KZ)
Мерембаев Тимур Жумаканович (KZ)	Merembayev Timur Zhumakanovich (KZ)



ЭЦҚ кол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Е. Оспанов  
E. Ospanov  
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE



Протокол испытаний

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ,  
ПРОМЫШЛЕННОЙ, РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ И БЫТОВОЙ ПРОДУКЦИИ  
АЛМАТИНСКИЙ ФИЛИАЛ  
АО "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ И СЕРТИФИКАЦИИ"  
050035, г. Алматы, Ауэзовский район, мкр. 8, дом 83, корпус 2, 3  
Аттестат аккредитации № KZ.T.02.0498 от "18" июня 2020 г.

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ**  
№ 10524 от "04" ноября 2020 г.

Всего страниц: 5  
Страница: 1

KZ.T.02.0498  
TESTING

Основание для испытаний: Акт отбора образцов ОПС Алматинского филиала АО "НаЦЭКС" от "28" октября 2020 г.

Вид испытаний: Сертификационные испытания

Наименование продукции: Солнечные коллекторы:  
с трубчатой панелью, с пластинчатой панелью

Фирма, страна-изготовитель: Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Институт информационных и вычислительных технологий" КН МОиН РК

Заказчик (наименование, адрес, БИН): Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Институт информационных и вычислительных технологий" КН МОиН РК, (БИН 040 740 002 672) г. Алматы, Медеуский район, ул. Шевченко, д. 28.

Количество представленных образцов продукции: Солнечный коллектор с пластинчатой панелью - 1 шт.

НД на продукцию: ТР ТС 010/2011, ГОСТ 12.2.007.0-75  
СТ 040740002672-ТОО-01-2020

Место проведения испытаний: Лаборатория

Дата поступления образцов: 28.10.2020 г.

Сроки проведения испытаний: 29.10.2020 г. - 04.11.2020 г.

Условия проведения испытаний: температура 20 °С  
относительная влажность 67 %  
атмосферное давление 692,8 мм.рт.ст.

Результаты испытаний:

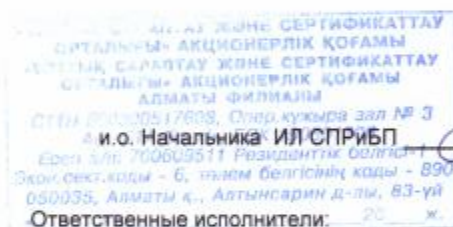
Наименование показателей, единица измерения, НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
1	2	3
Маркировка ТР ТС 010/2011 п.5 п.6;	Изготовитель машины и (или) оборудования должен обеспечивать машины и(или) оборудование руководством (инструкцией) по эксплуатации.	Имеется инструкция по эксплуатации
ТР ТС 010/2011 п.5 п.7;	Машины и (или) оборудование должны давать надписи или знаки о видах опасности.	Знаки и надписи четкие и нестираемые
ТР ТС 010/2011 п.5 п.8;	Машины и (или) оборудование должны иметь хорошо различимую четкую и нестираемую идентификационную надпись, содержащую: - наименование изготовителя и (или) его товарный знак;	Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Институт информационных и вычислительных технологий" КН МОиН РК

Наименование показателей, единица измерения, НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
1	2	3
<p>Маркировка ТР ТС 010/2011 п.5 п.8;</p> <p>ТР ТС 010/2011 п.5 п.11;</p> <p>п 3.2.1</p> <p>п 3.4</p> <p>ГОСТ 12.2.007.0-75 п. 3.1;</p> <p>Классификация, основные размеры и масса СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.1;</p>	<p>- наименование и (или) обозначение машины и (или) оборудования (тип, марка, модель (при наличии));</p> <p>- месяц и год изготовления.</p> <p>Руководство (инструкция) по эксплуатации выполняется на русском языке и на государственном(ых) языке(ах) государств-члена Таможенного союза при наличии соответствующих требований в законодательстве(ах) государства(в) члена(ов) Таможенного союза.</p> <p>Руководство (инструкция) по эксплуатации выполняется на бумажных носителях.</p> <p>Конкретное описание изделий должно соответствовать требованиям конструкторской документации</p> <p>Геометрические размеры, масса и их предельные отклонения изделий должны соответствовать требованиям конструкторской документации и договора или заказа и указаны в Каталоге предприятия</p> <p>При необходимости изделия должны быть оборудованы сигнализацией, надписями и табличками.</p> <p>Предупредительные сигналы, надписи и таблички должны применяться для указания на: включенное состояние изделия, наличие напряжения, пробой изоляции, режим работы изделия, запрет доступа внутрь изделия без принятия соответствующих мер, повышение температуры отдельных частей изделия выше допустимых значений, действие аппаратов защиты и т.п.</p> <p>Коллекторы выпускаются двух типов: - с трубчатой поглощающей панелью; - с пластинчатой поглощающей панелью.</p> <p>Виды поглощающих панелей: - трубчатые пластиковые; - трубчатые медные; - пластинчатые медные; - пластинчатые железные.</p>	<p>Солнечные коллекторы: с пластинчатой панелью</p> <p>07.2019 г.</p> <p>Выполнена на государственном и русском языках</p> <p>Выполнена на бумажных носителях</p> <p>Конкретное описание изделий соответствует требованиям КД</p> <p>Соответствует требованиям КД</p> <p>Изделия оборудованы табличками</p> <p>Имеется предупредительная табличка с указанием о повышенных температур отдельных частей</p> <p>Коллектор с пластинчатой поглощающей панелью</p> <p>Пластинчатые медные</p>

Наименование показателей, единица измерения, НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
1	2	3
Геометрические размеры СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.2;	Геометрические размеры, масса и их предельные отклонения опоры должны соответствовать требованиям конструкторской документации.  Длина, мм Ширина, мм Высота, мм Масса, кг  Число слоев прозрачной изоляции не ограничивают.  Допускается выпуск коллекторов без прозрачной тыльной теплоизоляции.	Геометрические размеры соответствуют требованиям конструкторской документации  1550 мм 660 мм 60 мм 25 кг  Один слой прозрачной изоляции  Тыльная часть коллектора обшита металлическим листом
Рабочее давление, МПа СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.3;	Поглощающая панель должна быть рассчитана на рабочее давление 1,1 МПа для коллекторов, предназначенных для работы в циркуляционном контуре, находящимся под давлением сети водопровода, и 0,8 МПа для коллекторов, предназначенных для работы в циркуляционном контуре, имеющем соединение с атмосферой.	Поглощающая панель рассчитана на рабочее давление 0,8 МПа
Площадь, м <sup>2</sup> СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.1;	Габаритная площадь коллектора, рассчитанная как произведение длины на ширину без учета патрубков и других локально выступающих элементов, должна быть не менее 0,72 м <sup>2</sup> .  Отношение длины коллектора к его ширине должно находиться в диапазоне 5:1-1:1.	0,93 м <sup>2</sup>  Отношение длины коллектора к его ширине находится в диапазоне 3:1
Технические требования СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.1;	Коллекторы должны соответствовать требованиям Технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования», настоящего стандарта организации, Каталогу предприятия и изготавливаться по конструкторской и технологической документации, утвержденной в установленном порядке.	Коллекторы соответствуют каталогу предприятия и изготавливаются по конструкторской документации
Основные характеристики, л/м <sup>2</sup> СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.8;	Удельный объем каналов поглощающей панели должен быть не более 4 л/м <sup>2</sup> .	4 л/м <sup>2</sup>
Герметичность СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.3;	Поглощающая панель должна сохранять герметичность и прочность при испытании давлением, равным 1,25 рабочего давления.	Поглощающая панель герметична при 1 МПа

Наименование показателей, единица измерения, НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
1	2	3
<p>Технические требования СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.6;</p> <p>кг/м<sup>2</sup></p>	<p>Удельная масса коллектора должна быть, не более:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- для коллектора, поглощающая панель которого выполнена из пластика - 15кг/м<sup>2</sup>;</li> <li>- для коллектора, поглощающая панель которого выполнена из стали - 35кг/м<sup>2</sup>;</li> <li>- для коллектора, поглощающая панель которого выполнена из цветных металлов - 25 кг/м<sup>2</sup>.</li> </ul>	<p>25 кг/м<sup>2</sup></p>
<p>Внешний вид СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.1;</p>	<p>Конструкция крепления прозрачной изоляции должна предусматривать возможность ее замены.</p> <p>Гнутые и штампованные детали из листовой стали не должны иметь трещин, надрывов и короблений.</p>	<p>Конструкция крепления прозрачной изоляции предусмотрена ее замены</p> <p>Детали коллектора не имеют дефектов в виде трещин, надрывов и короблений</p>
<p>Лакокрасочное покрытие СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.7;</p>	<p>Качество покрытия по внешнему виду должно соответствовать VII классу по ГОСТ 9.032.</p> <p>Прозрачная изоляция коллектора должна быть выполнена из стекла или полимерных материалов, устойчивых к атмосферным и эксплуатационным воздействиям.</p>	<p>Качество покрытия соответствует VII классу</p> <p>Прозрачная изоляция коллектора выполнена из закаленного стекла</p>
<p>Маркировка СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.1;</p>	<p>На видном месте должна быть установлена заводская табличка содержащая следующие данные:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- наименование и/или товарный знак предприятия изготовителя;</li> <li>- адрес изготовителя.</li> <li>- обозначение коллектора;</li> <li>- максимальное рабочее давление теплоносителя в поглощающем элементе;</li> <li>- дату изготовления</li> </ul>	<p>Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Институт информационных и вычислительных технологий" КН МОиН РК</p> <p>г.Алматы, Медеуский р-н ул. Шевченко, д. 28.</p> <p>Солнечные коллекторы</p> <p>0,8 МПа</p> <p>15.07.2019 г.</p>

Наименование показателей, единица измерения, НД на методы испытаний	Нормы по НД	Фактические значения
1	2	3
Маркировка СТ 040740002672-ТОО-01-2020 п. 7.1;	- заводской номер;  - обозначение настоящего стандарта организации.	Имеется  СТ 040740002672- - ТОО-01-2020



*[Handwritten signature]*

А.С. Смайлов

Зав.сектором ИЛ

*[Handwritten signature]*

А.С. Смайлов

Протокол оформил:

Ведущий специалист ИЛ

*[Handwritten signature]*

А.Т.Имашова

*Протокол испытаний распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям!  
Перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории строительной,  
промышленной, радиоэлектронной и бытовой продукции, НЕ ДОПУСКАЕТСЯ!*

Сертификат соответствия

**ЕВРАЗИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ СОЮЗ**  
**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ**

**EAC** № ЕАЭС KZ.7500317.21.01.05913  
Серия KZ № 0164375

**ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ** АФ ОПС АО "Национальный центр экспертизы и сертификации". Юридический адрес: 050035, Республика Казахстан, город Алматы, Ауэзовский район, микрорайон 8, дом 83. Фактический адрес: 050035, Республика Казахстан, город Алматы, Ауэзовский район, микрорайон 8, дом 83. Телефон: 8 (727) 237-90-47 вн.2067, адрес сайта: naseks.kz, электронная почта: sertifikaty\_af@mail.ru, № аттестата KZ.O.02.0317 выдан 01/07/2019 года Товарищество с ограниченной ответственностью "Национальный центр аккредитации"

**ЗАЯВИТЕЛЬ** Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Институт информационных и вычислительных технологий" Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан БИНЦИН: 040740002672, Юридический адрес: Республика Казахстан, город Алматы, Медеуский район, улица Шевченко, дом 28, телефон: +7 777 242 00 11, электронная почта: omigan@mail.ru

**ИЗГОТОВИТЕЛЬ** Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Институт информационных и вычислительных технологий" Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан БИНЦИН: 040740002672, Юридический адрес: Республика Казахстан, город Алматы, Медеуский район, улица Шевченко, дом 28. Фактический адрес: Республика Казахстан, город Алматы, Медеуский район, улица Шевченко, дом 28

**ПРОДУКЦИЯ** Солнечные коллекторы: с трубчатой панелью, с пластинчатой панелью, по 2 штук., Изготовлена в соответствии с "Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности" ГОСТ 12.2.007-75. "Солнечные коллекторы" СТ 040740002672-ТОО-01-2020. партия, Складская справка от 05/07/2019 г.

**КОД ТН ВЭД ЕАЭС** 8419190000

**СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ** ТР ТС 010/2011 "О безопасности машин и оборудования" утвержденного решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 823

**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ ВЫДАН НА ОСНОВАНИИ** протокол испытаний № 10524 от 04/11/2020г. Испытательная лаборатория строительной, промышленной, радиоэлектронной и бытовой продукции Алматинский филиал Акционерное общество "Национальный центр экспертизы и сертификации" KZ.T.02.0498 от 18/06/2020г. Схема: 9С

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ** Условия хранения -5 (ОЖ-4) по ГОСТ 15150-69. Средний срок службы, не менее - 10 лет. Гарантийный срок хранения не менее 2-х лет с момента изготовления. Дата изготовления 05.07.2019 г. "Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности" ГОСТ 12.2.007-75 (пункты: 3.1.8).

**СРОК ДЕЙСТВИЯ** 06.11.2020 г. по не установлен **ВКЛЮЧИТЕЛЬНО**

Руководитель  
Уполномоченное лицо  
органа по сертификации

Эксперт (эксперт-аудитор)  
(эксперты/эксперты-аудиторы)

Нурмашев Алайдар Калдыбаевич  
(И.О.У.)

Доскалдина Айжан Ельтеевна  
(И.О.У.)

Сертификаты

